

# GEOMORFOLOGISCH RISICO-ONDERZOEK OP DE VLAAMSE BANKEN TUSSEN 1985 EN 1995

door

Guy DE MOOR

## 1. – De Vlaamse Banken

### 1.1. – *Morfologie*

De bodem van de Zuidelijke Noordzee wordt gekenmerkt door langgerekte zandbanken en ondiepe geulen die binnen groepen van min of meer parallel verloopende eenheden kunnen gerangschikt worden. Een van die groepen wordt gevormd door de Vlaamse Banken. Die liggen gecentreerd rond de positie 51°15 N en 2°40 E en strekken zich uit aan beide zijden van de grens tussen het Franse en het Belgische deel van het Noordzeeplat (fig. 1).

Op het Belgisch gedeelte omvatten de Vlaamse Banken van west naar oost achtereenvolgens de Oostdyck (ODB), de Buitenratel (BRB), de Kwintebank (KWB), de Middelkerkebank (MKB) en de Oostendebank (OSB). Hun lengte wisselt tussen 12 km en meer dan 25 km, hun hoogte tussen 5 m en 25 m en hun breedte op het peil van de topconvexiteit tussen 300 m en 1500 m. Plaatselijk kan de banktop uitrijzen tot boven het peil - 4 mH (d.w.z. ten opzichte van de lokale gemiddelde laagste laagwaterstand bij springvloed), plaatselijk ligt de banktop zelfs beneden -15 mH. De Vlaamse Banken hebben alle een ZZW-NNO richting en ze liggen zwak in wijzerzin verdraaid ten opzichte van de stroomrichting bij vloedpiek. De meeste banken vertonen een transversale asymmetrie. De hellingen zijn zeer zwak : zelden is de hellingsgraad groter dan 3% tot 5%.

De opeenvolgende geulen zijn er van west naar oost de Ratelgeul (BRG), de Kwinte (KWG), de Negenvaam (NVG) en het Uitdiep (UTG). De bodem van die geulen daalt zelden beneden het peil -30 mH en loopt overal af in zeewaartse richting. Het meest landwaartse gedeelte van de Negenvaam vertoont een snellere verhoging waardoor het zuidelijk uiteinde van deze geul een tongvormig uitzicht verkrijgt.

Aan het oppervlak van banken en geulen vindt men velden met zandgolven (tot 2 à 8 m hoog) en megaribbels (tot 0.5 à 1.5 m hoog) (fig. 2). Figuur 3 toont





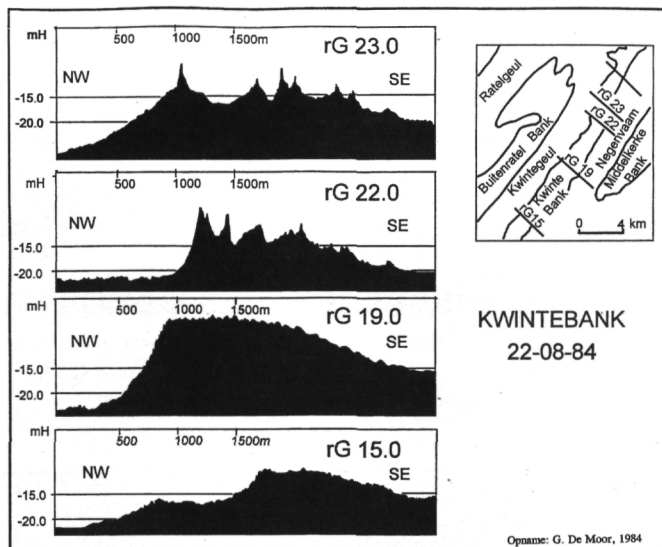


Fig. 2. — Morfologie van zandbanken en zandgolven langsheen transversale doorsnede van de Kwintebank.

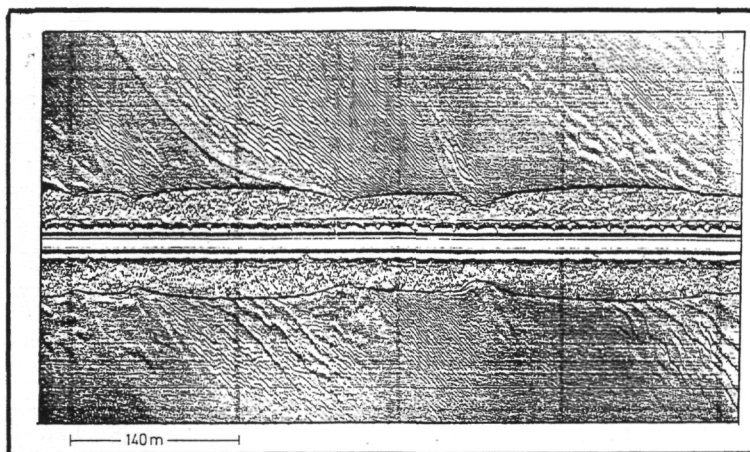


Fig. 3. — Sonogram met zandgolven en megaribbels op de noordzijde van de Kwintebank (rG 21.0) (opname De Moor, 1984, Klein side scan sonar).

op de eerste echogrammen <sup>2</sup> die VAN VEEN in 1936 op de Varnebank in het Nauw van Kales opgenomen heeft (fig. 4).

Langsheel de banken treden veranderingen in de morfologische kenmerken op, zoals in het voorkomen, de afmetingen en het patroon van zandgolven

2. Een echogram is een reliëfdoorsnede opgenomen met een echoloder (zie bijlage 6). Die leidt de diepte af uit de looptijd van een geluidpuls tussen een transducer in de kiel van het schip en de zeebodem.

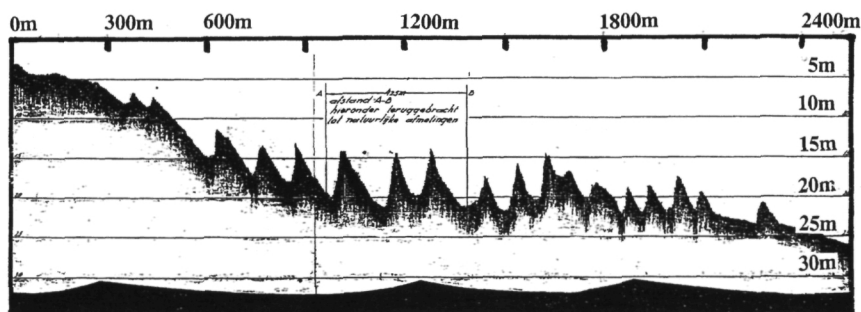


Fig. 4. — Echogram op de noordzijde van de Varnebank. Tot meer dan 5 m hoge zandgolven met steile zijde naar de banktop gericht. Onderaan is een groep van drie zandgolven voorgesteld op ware schaalverhouding (1:1) (opname J. Van Veen, 1936).

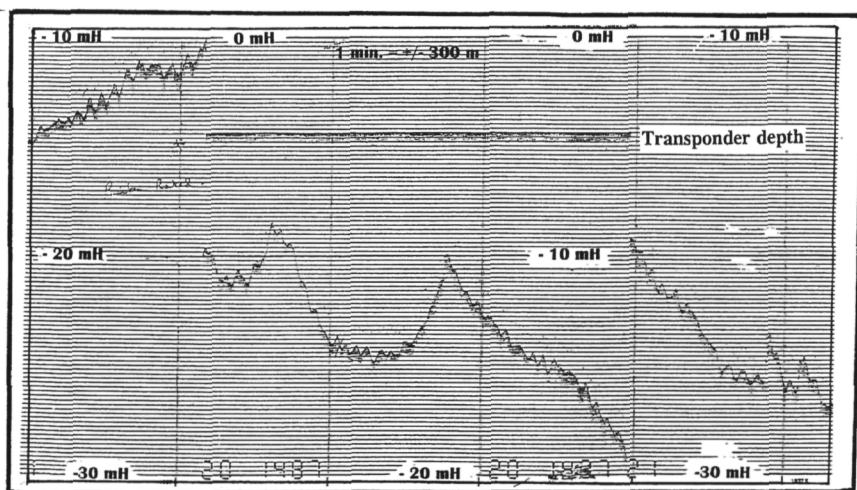


Fig. 5. — Bruto-echogram op de oostflank van de Buitenratel langs referentielijn rG 19.0 (opname De Moor, 08.11.88).

en megaribbels. Figuur 3 toont dat die dikwijls een ongelijke kamstrekking hebben. Langsheen sommige banken verandert de transversale asymmetrie van flank wat gepaard gaat met een kink in het lengteprofiel van de bank. Dergelijke asymmetriewissel komt voor langs de Westhinderbank en langs de Kwintebank.<sup>3</sup>

Dit onderzees reliëf wordt waargenomen op echogrammen (fig. 5). Het wordt voorgesteld op hydrografische kaarten (fig. 6)<sup>4</sup> en ook bij middel van hypsometrische profielen, meestal met grote overdrijving van de hoogteschaal (fig. 7).

3. DE MOOR, G. (1986). *Geomorfologisch Onderzoek op het Belgisch Kontinentaal Plat*. In : *Belgische Vereniging voor Aardrijkskundige Studies*, 55, pp.133-174, 11 fig.

4. Hydrografische kaarten zijn hypsometrische kaarten waarop het zeebodemreliëf weergegeven wordt door het verloop van hoogtelijnen bepaald ten opzichte van een nulvlak dat, althans wat de

Seismische prospectie <sup>5,6</sup>, boringen <sup>6,7</sup> en aanvullende studies van de oppervlakkige sedimenten <sup>8,9,10</sup> bevestigen dat de Vlaamse Banken voor het grootste deel opgebouwd zijn uit marien-zandige lichamen van holocene ouderdom. In sommige banken komen plaatselijk kernen met pleistocene afzettingen voor. De isopachenkaart van de quartaire afzettingen op het Belgisch continentaal plat <sup>11</sup> illustreert de geringe dikte van de quartaire afzettingen in de geulen in tegenstelling tot hun grote dikte in de banken. Uit gedetailleerd seismisch onderzoek is gebleken dat de steile bankzijde niet zonder meer als residuele progradatiezijde kan beschouwd worden maar dat het eerder de zwakke helling is die een netto afzettingseffect kent.<sup>7</sup>

## 1.2. – Hydrodynamiek en sedimentdynamiek

In de ondiepe Zuidelijke Noordzee worden de dynamiek van het zeebodemoppervlak en die van de sedimenten bepaald door getijden, stromingen en gol-

Belgische kaarten betreft, overeenkomt met het lokaal gemiddelde laagste laagwaterpeil bij springtij (GLLWS), en dat ook gekend is als H-vlak. Ze worden opgenomen op basis van dieptelodingen en lodingskaarten. De omzetting van de ogenblikkelijk gemeten diepte naar peil t.o.v het nulvlak gebeurt door tijreductie. Bij de verwerking van de dieptegegevens wordt bij de opmaak van hydrografische kaarten rekening gehouden met bepaalde consideraties in verband met de nautische veiligheid van de scheepvaart. Zo kan men per elementaire groep lodingspunten opgenomen gedurende een korte tijd of over een korte afstand alleen de minst diepe als representatief voor de groep in rekening brengen.

5. MOSTAERT, F., AUFFRET, J.P., DE BATIST M., HENRIET, J.-P., MOONS, A., SEVENS, E., VAN DEN BROEKE I. & VERSCHUREN, M. (1989). *Quaternary Shelf Deposits and Drainage Patterns off the French and Belgian Coasts*. In : J.-P. HENRIET, G. DE MOOR & M. DE BATIST (Ed.) : *Tertiary and Quaternary Geology of the Southern Bight*. Brussels, Ministry Economic Affairs, pp. 111-118.

6. DE BATIST, M., TRENTSEAU, A., MISSIAEN, T. & BERNÉ, S. (1994). *Large Scale Internal Structure of the Middelkerke Bank*. In : DE MOOR, G. (Ed.) : *Relationship between Sea Floor Currents and Sediment Mobility in the Southern North Sea*. (Onuitgegeven verslag). Brussels, EC-DG XII, Project MAST 1, RESECUSED, Final Report, pp. 4-1/4-29, 16 fig.

7. DE MOOR, G. (1985). *Shelf Bank Morphology off the Belgian Coast. Recent Methodological and Scientific Developments*. In : VAN MOLLE (Ed.) : *Recent trends in Physical Geography, Liber Amicorum L. Peeters*. Brussel, Study Series Vrije Universit. Brussel, New Ser. 20, pp. 47-90, 24 fig. (zie meer speciaal figuur 10).

8. DE MOOR, G. & LANCKNEUS, J. (1991). *Zand- en grindwinning op het Belgisch continentaal plat en monitoring van de eventuele gevolgen voor de bodemstabiliteit*. In : *Colloquium Oppervlaktedelfstoffenproblematiek in Vlaanderen...* Gent, Universiteit Gent, Genootschap Gentse Geologen., Proceedings, pp. 188-214, 20 fig. (zie meer speciaal figuren 6, 7, 8, 9).

9. LANCKNEUS, J. (1989). *A Comparative Study of Some Characteristics of Superficial Sediments on the Flemish Banks*. In : J.-P. HENRIET, G. DE MOOR & M. DE BATIST (Ed.) : *Tertiary and Quaternary Geology of the Southern Bight*. Brussels, Ministry Economic Affairs, pp. 229-241, 18 fig., 7 tab.

10. TRENTSEAU, A., STOLK, A., TESSIER, B. & CHAMLEY, H. (1994). *Surficial Sedimentology of the Middelkerke Bank (Southern North Sea)*. In : *Marine Geology*, 121, pp. 43-55.

11. LIU, A'C., MISSIAEN, T. & HENRIET, J.-P. (1992). *The Morphology of the Top-Tertiary Erosion Sea Floor in the Belgian Sector of the North Sea*. In : *Marine Geology*, 105, pp. 275-284.

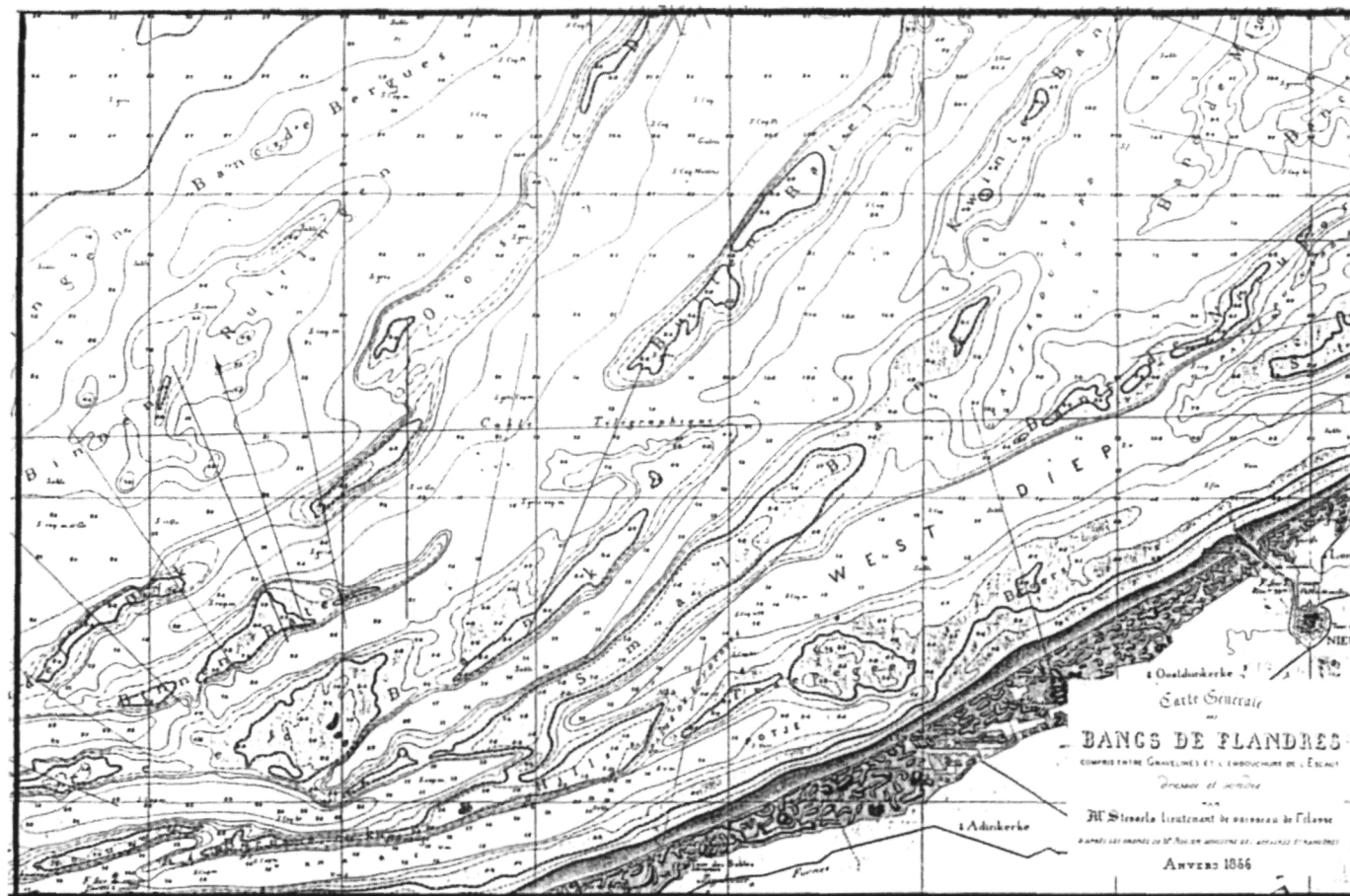


Fig. 6. — De Vlaamse Banken op de eerste Belgische hydrografische kaart (opname Stessels, uitgave 1866).

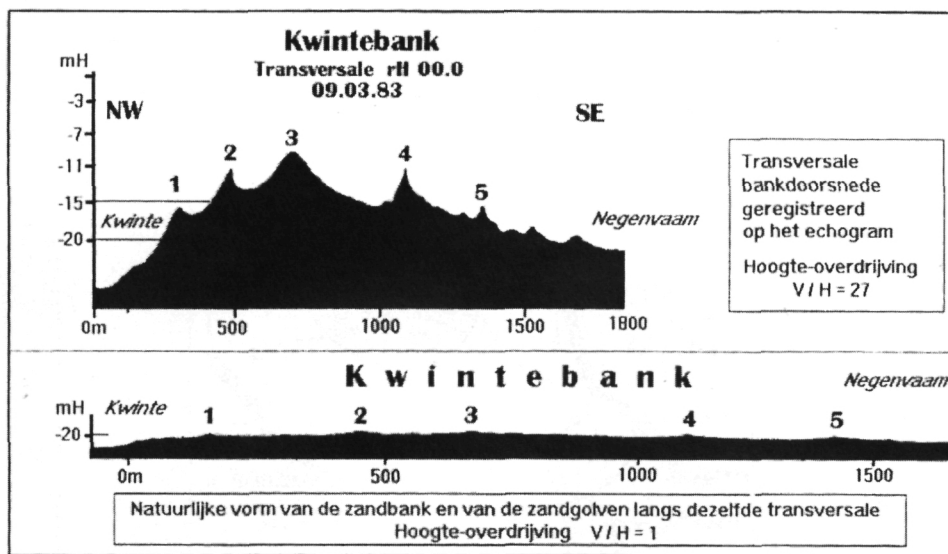


Fig. 7. — Transversale doorsnede doorheen de noordelijke Kwintebank. Effect van de hoogte-overdrijving.

ven. De voornaamste elementen zijn : (a) het halfdagelijks megatidaal getij waarvan de hoogte afhangt van de afstand tot de amfidromie van Norfolk (fig. 8) ; (b) de voortdurende wisselingen van de tijhoogte (fig. 9) en van de snelheid en richting van de tijstromen in functie van de halfdagelijkse vooruitgang van het getij en van de veertiendaagse doottij/springtij cycli, zoals aangegeven door de stroomrozen.<sup>12</sup> Die veranderen overigens niet alleen met de plaats maar ook met de diepte (fig. 10) ; (c) het verschil in piekstroomsnelheid en piekstroomrichting tussen hoog en laag water (fig. 10), meer in 't bijzonder bij doottij en bij springtij ; (d) de asymmetrie van het getij waarmee het verschil in duur van vloed en eb bedoeld wordt ; (e) het verschil tussen de ogenblikkelijke en de residuele waterverplaatsing zoals aangegeven door waterverplaatsingsdiagrammen (fig. 11) ; (f) de golf- en deiningen-kenmerken ; (g) verhogingen of verlagingen van de waterstand veroorzaakt door atmosferische factoren zoals windsnelheid, windrichting, luchtdrukdaling of luchtdrukstijging die het wateroppervlak respectievelijk doen stijgen of dalen, ligging en baan van depressiekernen, enz.<sup>13</sup> De windrichting bepaalt de strijklengte en beïnvloedt dus mede de golfhoogte en het ontstaan van opstuwing en van bodemstromen en kan de waterverplaatsing beïnvloeden. In dit verband speelt Noordwestenwind een grote rol vòòr de Vlaamse kust.

12. VAN CAUWENBERGHE, C. (1992). *Noordzee-Vlaamse Banken. Stroomatlas 1992*. Oostende, Dienst der Kusthavens, Hydrografie. 24 krt.

13. CODDE, R. & DE KEYSER, L. (1967). *Noordzee, Kust / Scheldemonding, ZeeSchelde*. Brussel, Nationaal Comité voor Geografie, Atlas van België, plaat 18 A / 18 B, Toelichtende tekst, 60 p., 12 fig., 15 tab.

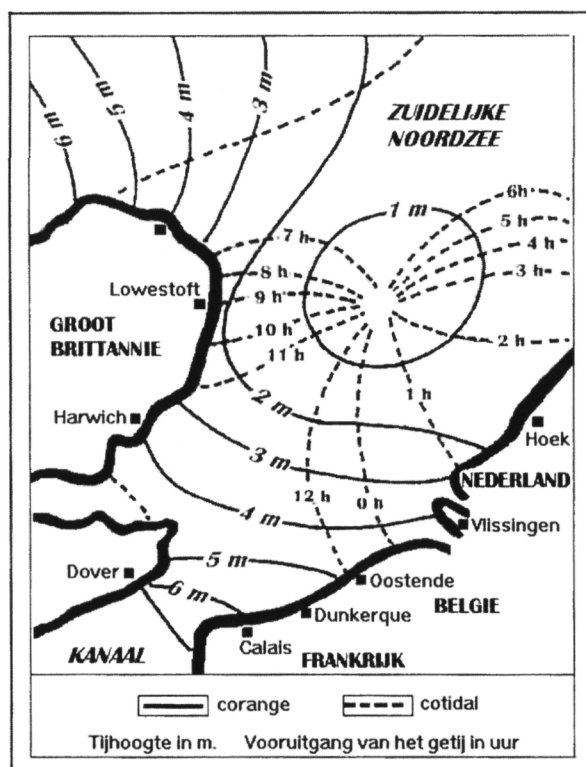


Fig. 8. — Het getij in de Zuidelijke Noordzee. De amfidromie van Norfolk.

Het sedimenttransport dat aan de basis van deze veranderingen ligt is uiterst complex zoals de waterverplaatsingsdiagrammen suggereren (fig. 11). In dit getijdemilieu veranderen richting en snelheid van de ogenblikkelijke sedimentstroom voortdurend. Er treedt heen en weer gaande sedimentverplaatsing op gepaard gaande met sortering en tijdelijke afzetting. Het residueel effect kan zowel uit erosie (en verlaging), uit afzetting (en verhoging) of uit dynamische stabiliteit bestaan. De sedimenten die bij elke afzettingsfase achterblijven verschillen in kenmerken zodat het geheel een fijn-gelaagde interne structuur vertoont.

De ingewikkelde sedimentdynamische en morfodynamische effecten van wisselende watersnelheden en stroomrichtingen hangen mede af van de korrelgroottekenmerken van de sedimenten. Voor elke korrelgrootteklasse bestaan andere kritische snelheden voor erosie, transport en afzetting.<sup>14</sup> Figuur 12 suggereert een eenvoudig verband tussen korrelgrootte en kritische snelheden. Waterdiepte, waterdensiteit, korrelgrootteverdeling, turbulentiegraad, bodemruwheid,

14. Hjulström, F.(1935). *Studies of the Morphological Activity of Rivers as Illustrated by the River Frys*. In : *Bulletin Geological Institute University Uppsala*, 25, pp. 221-527.

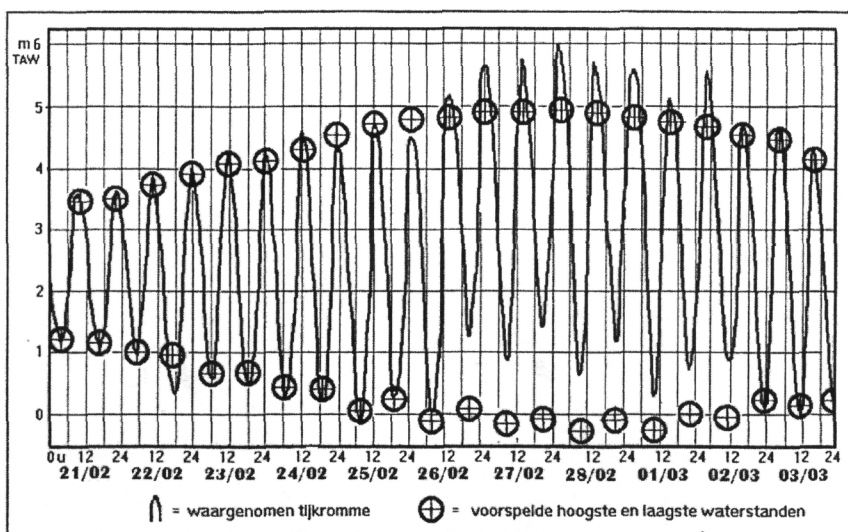


Fig. 9. — Tijdkromme te Oostende tussen 21.02.1990 en 03.03.1990 (Bron : Dienst der Kust, Oostende). De kromme toont de overgang van dood tij naar springtij samenvallend met de zware NW storm van 26.02.90 tot 01.03.90. Door strijklengte en luchtdrukdaling bedroeg de peilverhoging 1 m bij hoog water tot 1.5 m bij laag water.

ribbelkenmerken, verzadigingsgraad, cohesie, agglomeratie en andere factoren spelen echter ook een rol. Sedimenten zijn zelden uit één korrelgrootteklasse opgebouwd.

## 2. – Geomorfologische risico's in een marien zandig epicontinentaal milieu

Onderzoek naar geomorfologisch risico's richt zich op de mogelijkheid dat er veranderingen in het reliëf, meer bepaald in het zeebodemreliëf, kunnen optreden die nadelige effecten zouden hebben voor menselijke aanwezigheid of voor menselijke activiteiten en realisaties.

Op de Vlaamse Banken houden de geomorfologische risico's vooral verband met : (a) verplaatsingen van de banken en verschuiving van de bankflanken ; (b) veranderingen in de hoogte van banktoppen en geulbodems ; (c) veranderingen in de ligging, het verloop, de hoogte en de mobiliteit van de zandgolven waardoor o.a. de diepte in de geulen kan veranderen ; en (d) verschillen in snelheid en amplitudo van deze veranderingen.

De studie van de veranderingen van de bodemtopografie is een belangrijk wetenschappelijk onderwerp dat bovendien ook tal van praktische implicaties inhoudt.

Verhoging of verlaging van de banktoppen door winst of verlies van zand kan verregaande gevolgen hebben voor de navigatie, de bodemfauna, de visserij, de stabiliteit van structuren verankerd in de bodem, de werking van telefonie-



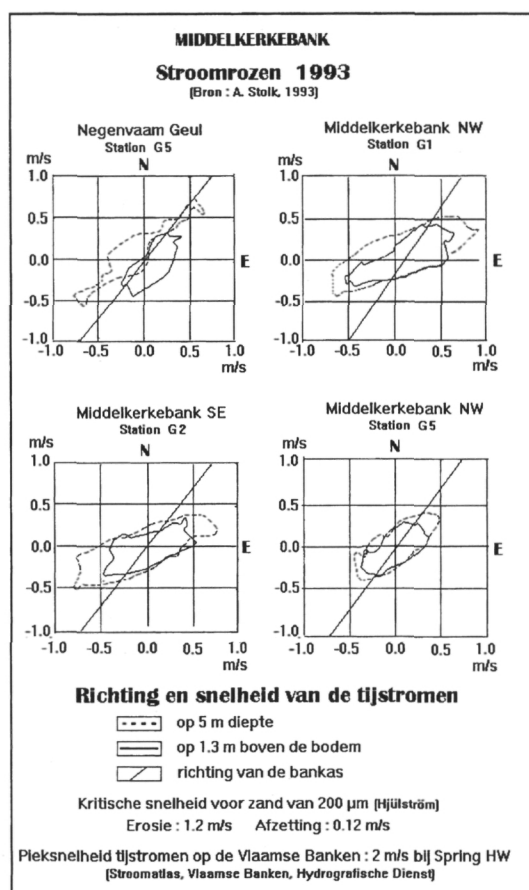


Fig. 10. — Stroomrozen op verschillende dieptes op de Middelkerkebank.

kabels en van gas- of olieleidingen en ook voor de exploitbaarheid van bodemmineralen. Diepte van de top en richting van de kustbanken beïnvloeden de energie waarmee golven op strand en vooroever inslaan en kunnen een invloed hebben op de kusterosie. Verhoging van de geulbodems kan een gevaar vormen voor de nautische veiligheid als de geulen een kritische diepte bereiken of als de toppen van de zandgolven tot boven die diepte uitgroeien. Verschuiving van banken vormt een bedreiging voor de scheepvaart.

Anderzijds riskeren menselijke ingrepen op de zeebodem zoals bij zand- en grintwinningen of bij het opwerpen van kunstmatige eilanden, wat met hoogteveranderingen gepaard gaat, de hydrodynamiek, de sedimentdynamiek en de morfodynamiek te beïnvloeden. Vandaar de noodzaak om vooraleer belangrijke ingrepen uit te voeren een kwantitatieve referentie vast te leggen.



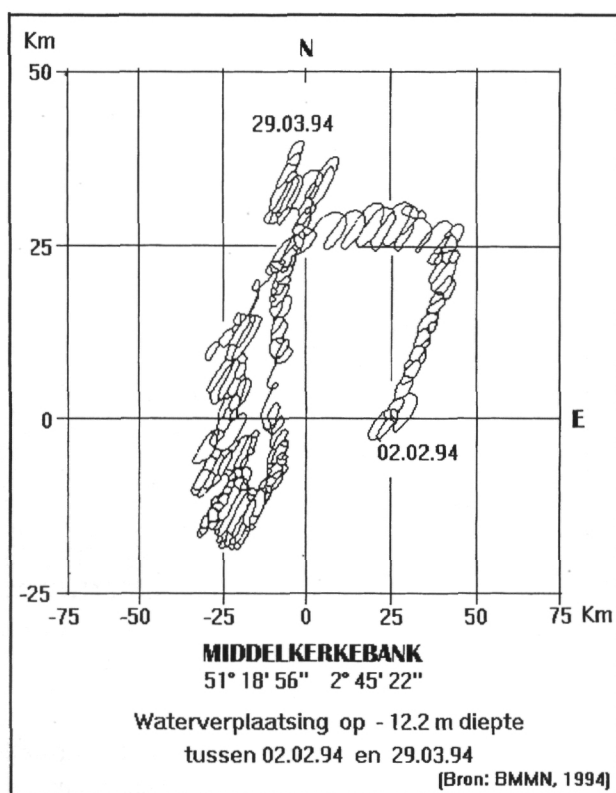


Fig. 11. — Waternverplaatsingsdiagram op de Middelkerkebank.

### 3. – Algemene methodologie

Om geomorfologische risico's in te schatten kan men de hoogteveranderingen volgen door gedurende een langere periode opeenvolgende dieptemetingen beneden een referentievlaak (nulvlak) uit te voeren in een vast lodingspunt dat als representatief beschouwd wordt, na tijreductie een tijdreeks voor de dieptes op te stellen, de evolutietrend te bepalen en de resultaten, numerisch uitgedrukt, te synthetiseren in een cartografisch document.

Men kan de diepte ook meten in opgelijnde meetpunten en zo een diepte-profiel opnemen (of echogram indien het echolood gebruikt wordt), de opname van zulk echogram (fig. 4, fig. 5) herhalen langs een vaste vaarlijn, elk echogram door tijreductie <sup>15</sup> verwerken tot een hypsometrisch profiel (fig. 7, fig. 20), de op-

15. Tijreductie is een procedure om de diepte gemeten t.o.v. het ogenblikkelijk wateroppervlak op een lodingspunt om te zetten in hoogtepeil t.o.v. een vast referentie-oppervlak. Overeenkomstig de Belgische traditie is dit het lokaal G.L.L.W.S. Tijreductie is nodig omdat gedurende de opname op zee de hoogte van de waterspiegel, en dus ook waterdiepte boven de vaste bodem voortdurend

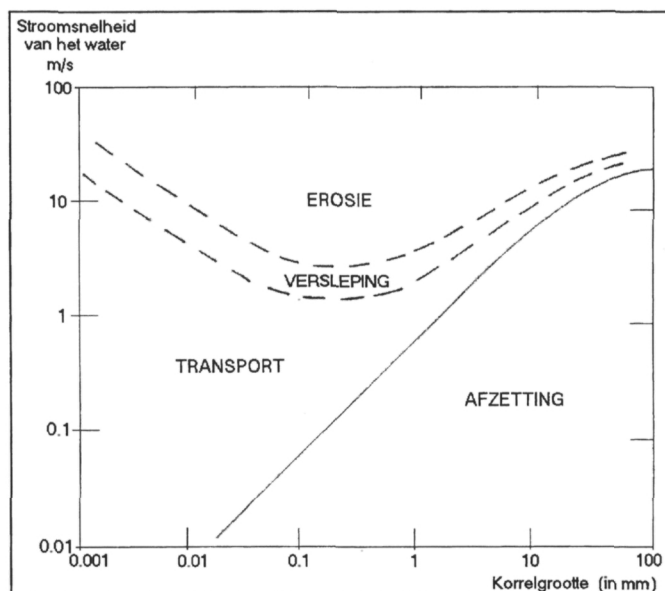


Fig. 12. — Bewegingstoestand van sedimenten alnaar korrelgrootte en waterstroomsnelheid (Hjülström, 1935).

eenvolgende profielen vergelijken, hoogteverschilprofielen opstellen en verder tijdreeksen van de hoogteverandering maken en daarmee evolutietrends bepalen.

Anderzijds laten dieptemetingen in een net van lodingspunten toe om een lodingskaart (fig. 13) op te nemen. Na tijreductie<sup>15</sup> van de dieptes kan men die lodingskaart dan met behulp van interpolatietechnieken herleiden tot een hoogtelijnenkaart. Door visuele vergelijking van sequentiële opgenomen hoogtelijnenkaarten kan men dan de hoogteveranderingen inschatten of, indien een databank van digitale diepte- en plaatsgegevens beschikbaar is, een hoogteverschilkaart opmaken. Bij sequentiële opname van echogrammen en lodingskaarten is het niet nodig op dezelfde lodingspunten terug te keren voor zover de resolutie van het meetnet groot genoeg is om een voldoende getrouwe reliëfswaergave te bekomen.

Om kleinere reliëfsvormen te karteren of om een meer nauwkeurig diepte-profiel of dieptekaart te bekomen zal men bij elke opname de meetfrequentie en eventueel ook de scheepssnelheid verlagen. Door de kortere tussentijd tussen de

verandert wegens de vooruitgang van het getij. Indien de opname gepaard gaat met verplaatsing van het schip t.o.v. het centrum van de amfidromie waarbinnen het zich bevindt (fig. 8) zoals bij profielopnames, passeert het schip aanhoudend door plaatsen met een andere tijamplitudo. Tijreductie omvat dan ook een plaats- en een tijdscomponent. Tijreductie is nodig om vergelijkbare hypsometrische profielen en kaarten te bekomen. Om de tijreductie te bepalen gebruikt men een tijkromme opgenomen in een plaats geïntegreerd in de procedure.

lodingspunten wordt ook de afstand kleiner en bekomt men een lodingskaart met grotere resolutie. Vanzelfsprekend zal men de diepte met de grootst mogelijke precisie meten. Door de opnamefrequentie te verhogen kan men de hoogteveranderingen met meer detail volgen.

#### 4. – Belang van de technologische evolutie

Hoogteveranderingen opvolgen door opname van opeenvolgende echogrammen langs vaste vaarlijnen was tot vòòr 1970 nagenoeg onmogelijk. Nauwkeurig dezelfde lijn afvaren werd slechts doenbaar dank zij de ontwikkeling van moderne technieken voor plaatsbepaling en navigatie.

Tot de eerste wereldoorlog werd de zeebodemdiepte met manuele of mechanische lodingen vanaf het zee-oppervlak gemeten. Dit was tijdrovend, bood geen grote nauwkeurigheid en gebeurde meestal met een geringe resolutie. Onderzoek naar de zeebodemdynamiek, gesteund op systematische en nauwkeurige metingen van plaats en diepte, uitgevoerd met grote resolutie, heeft dan ook lang op zich laten wachten.

Kort na de eerste wereldoorlog werd dieptemeting met het *single-beam* echolood geïntroduceerd.<sup>16</sup> Met het echolood (zie bijlage 6) kan men dieptemetingen snel na elkaar uitvoeren en de lodingsfrequentie verhogen en zo echogrammen en lodingskaarten met grote lodingsdichtheid bekomen en dus kleine reliëfvormen waarnemen. Rond 1933 is J. VAN VEEN begonnen het echolood te implementeren in het zeebodem-onderzoek in de Zuidelijke Noordzee.<sup>17</sup>

De tweede technologische verbetering betreft plaatsbepaling en navigatie. De getrouwheid en de nauwkeurigheid van de reliëfsreconstructie door dieptemetingen vanaf het wateroppervlak hangen immers niet alleen af van de precisie van het echolood, van de resolutie van de lodingspunten en van de juiste tijreductie, maar ook van de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling. Indien men opeenvolgende profielen wil vergelijken is de nauwkeurigheid waarmee vaste referentielijnen afgevaren worden, en dus ook de frequentie en de nauwkeurigheid waarmee de opeenvolgende plaatsbepalingen gebeuren, van fundamenteel belang.

Tot de tweede wereldoorlog gebeurde plaatsbepaling van lodingspunten bij dieptekartering door kustvaarttechnieken, door astronomische plaatsbepaling of door klassieke *Dead Reckoning*. Binnen de tien à twaalf kilometer uit de kust

16. In 1922 werd aan boord van de Amerikaanse destroyer STEWART een eerste continu echogram opgenomen doorheen de Noord-Atlantische Oceaan. In 1925 heeft Georg WÜST met het Duitse oceanografisch onderzoekingschip METEOR echogrammen opgenomen in verschillende delen van de Atlantische Oceaan. (Zie ook BOWDITCH, N (1977-81). *American Practical Navigator*. Wasinghton, Defence Mapping Agency, Hydrographic Center, vol. I (1977), pp. 14 ; en DE MOOR, G. (1991). *Developments in Sea Floor Research*. In : *Marine Research in Flanders*. Ostend, Instituut voor Zeewetenschappelijk Onderzoek, pp. 14-28).

17. VAN VEEN, J. (1936). *Onderzoekingen in de Hoofden in verband met de gesteldheid der Nederlandsche Kust*. 's Gravenhage, Nieuwe Verh. Bataafsch Genootsch., 252 p., 148 fig.

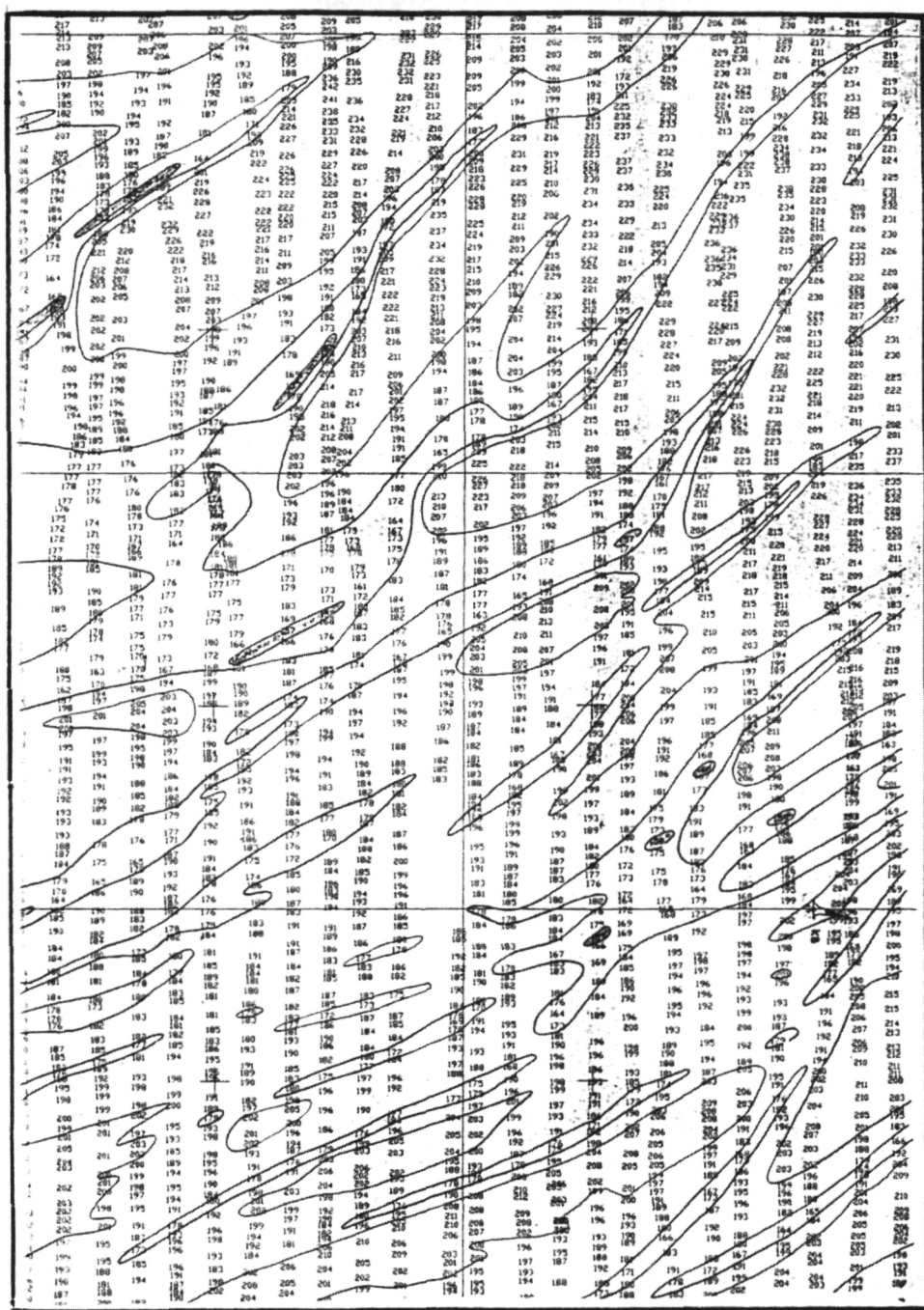


Fig. 13. — Uittreksel uit een lodingskaart op de Kwintebank (14.01.97) (opname Hydrografische Dienst Oostende; Tijreductie M2).

werd gewerkt met achterwaartse insnijding naar landmerken zichtbaar vanuit zee, meer bepaald met behulp van kompaspeilingen en van horizontale hoekmetingen met de sextant. Verder in zee werd gebruik gemaakt van boeien waarvan de positie voordien vastgelegd was. Later werden ook radarpeilingen ingevoerd. Al deze technieken vereisten relatief veel tijd voor de opname, leenden zich moeilijk tot hoogfrequente positioneringen nodig bij een hoge resolutie van lodingspunten en bij preciese navigatie en werden ten dele grafisch uitgewerkt wat toen nog een grote verwerkingstijd vergde.

Na de tweede wereldoorlog werden de radio-elektronische hyperbolische positionerings- en navigatiesystemen (zie bijlage 5) geïmplementeerd, meer in het bijzonder de DECCA NAVIGATOR. Tegen 1970 kon men daarmee op de Vlaamse Banken gedurende het grootste deel van de dag plaatsbepalingen bekomen met een systeemnauwkeurigheid van de orde van 20 à 50 m. Gedurende het pilootproject „Kwintebank” in 1980-83 werden de Decca-coördinaten manueel om de 30 seconden opgenomen.<sup>18</sup> Transformatieformules lieten toe de Decca-coördinaten om te zetten naar geografische coördinaten, rekening houdend met de gebruikte projectie en ellipsoïde

Decca-Navigator laat ook toe één van de Decca-coördinaten (zie bijlage 5) aan te houden en aldus dezelfde radio-elektronische hyperbool (in feite een nulphaseverschillijn voor signaalontvangst van de twee radiogolven) te volgen, wat het sequentieel afvaren van eenzelfde positiehyperbool vergemakkelijkt. Deze eigenschap was bijzonder interessant in het geval van de Vlaamse Banken omdat de armen van de Decca-hyperbolen daar nagenoeg rechte lijnen vormen. Gedurende het pilootproject „Kwintebank” werden Decca-hyperbolen gevolgd als vaste vaarlijnen om sequentiële echogrammen op te nemen.<sup>18</sup> Koersstabiliteit en nauwkeurigheid van plaatsbepaling bleven echter nog te gering om de vereiste precisie te bereiken.

Vanaf 1982 werd de „Vlaamse Kust”-keten van het radio-elektronisch navigatiesysteem TORAN<sup>19</sup> ingeschakeld bij de campagnes in het „Kwintebank-project”. Dat systeem bood een grotere positienauwkeurigheid maar bleek op de Vlaamse Banken erg instabiel te zijn wegens herhaalde *lane-slip* zodat men de profielopnames veelvuldig moest onderbreken om naar Toran-referentiepunten terug te keren.

De periode 1980-1995 is van groot belang geweest voor de uitbouw van het onderzoek van de zeebodemdynamiek door de introductie van nieuwe ondersteuningstechnieken zowel inzake plaatsbepaling en navigatie als wat betreft dieptemeting en andere middelen voor waarneming van het zeebodemreliëf. De

18. DE MOOR, G. (1984). *Morfodynamiek en sedimentdynamiek rond de Kwintebank*. (Onuitgegeven verslag). Brussel, Ministerie Economische Zaken, Deel I (Tekst), (219 p.), II (71 p.), III (65 p.), IV (39 p.), V (36 p.).

19. DE CEURT, F. & VAN CAUWENBERGHE, C. (1983). *Het radioplaatsbepalingssysteem TORAN „Belgische kust en aangrenzend gebied”*. In : *Tijdschrift der Openbare Werken van België*, 1983 (3).

computertechnologie en de *real time* dataregistratie hebben de acquisitie van grote digitale databestanden en hun grafische en cartografische verwerking mogelijk gemaakt.

Vanaf 1984 werden die technologieën geïmplementeerd aan boord van het oceanografisch schip BELGICA en van het hydrografisch schip TER STREEP die van toen af voor het onderzoek op de Vlaamse Banken gebruikt geweest zijn. Compatiebele software en hardware werden ingeschakeld voor de verdere laboratoriumverwerking.

In 1985 werd het SYLEDIS-systeem<sup>20</sup> operationeel langsheen de Vlaamse kust. Dit meer performante radio-elektronisch navigatiesysteem liet snellere, meer frequente en meer betrouwbare plaatsbepalingen toe met een systeem-nauwkeurigheid die op de Vlaamse Banken tot beter dan 5 m was en met een registratiefrequentie tot 1 Hz. Bovendien bood SYLEDIS ook navigatiemodes die het precies afvaren van loxodromen<sup>21</sup> sterk vergemakkelijkten. Koersafwijkingen kon men in *real time* opvolgen op track plots en op *left-right indicators* waardoor men de koers reeds bij zeer kleine afwijkingen van de vaste vaarlijn onmiddellijk kon bijsturen. Afgevaaren lijnen kon men à posteriori nauwkeurig uitplotten met behulp van de geregistreerde coördinaten en aldus afwijkende opnames elimineren.

Vanaf 1985 kon men sequentiële bathymetrische opnames uitvoeren langs vaste referentielijnen en veranderingen van de zeebodemhoogte opvolgen met een nauwkeurigheid, een resolutie en een frequentie die het bekomen van nauwkeurige en vergelijkbare sequentiële hypsometrische profielen mogelijk maakten. Na 1992 werden positie, plaats en tijd één tot twee maal per seconde digitaal geregistreerd. Ondertussen had men ook tijregistraties<sup>22</sup> en tijreductiemethodes<sup>23,24</sup> verder ontwikkeld.

Rond 1995 begon een nieuwe fase van technologische vernieuwingen die tot verdere verbetering van de hypsometrische opnames geleid hebben.

20. VAN CAUWENBERGHE, C. & DENDUYVER, D. (1993). *Het radioplaatsbepalingssysteem SYLEDIS langs de Belgische kust en aangrenzend gebied*. Oostende, Hydrografische Dienst der Kust. Rapport n° 41, 22 p.

21. Loxodromen komen overeen met lijnen die men met constante koers kan afvaren. Op een klassieke Mercatorkaart hebben ze het uitzicht van rechte lijnen. Omwille van die kenmerken worden ze in de zeevaart veel gebruikt. De afgelegde weg langs een loxodrome is wel langer dan die langs de orthodrome die met de sferische grootcirkelboog tussen dezelfde eindpunten overeenkomt maar waarvan het afvaren voortdurend koerswijzigingen vereist.

22. VAN CAUWENBERGHE, C. (1993). *Overzicht van de tijwaarnemingen langs de Belgische kust. Periode 1981/1990 voor Nieuwpoort, Oostende en Zeebrugge*. Oostende, Hydrografische Dienst der kust. Rapport n° 40, pp. 1-14, 21 tab., 3 fig.

23. VAN CAUWENBERGHE, C., DEKKER, L. & SCHUURMAN, A. (1987). *M2 Tidal Reduction Method for Coastal Zones*. In : *Workshop on Tidal Reduction Methods*. Amsterdam, Hydrographic Society, pp.1-5.

24. VAN CAUWENBERGHE, C., DEKKER, L. & SCHUURMAN, A. (1993). *M2 Tidal Reduction Method for Coastal Waters*. Oostende, Hydrografische Dienst. Rapport. n°33, 12 p.

De hyperbolische plaatsbepalingssystemen werden snel vervangen door het satelliet-navigatiesysteem GPS (*Global Positioning System*). Na korte tijd kwam het meer performante DGPS (*Differential Global Positioning System*) beschikbaar dat toeliet op de Vlaamse Banken geografische breedte en lengte met grote frequentie, in *real time* en met een precisie van 1 à 2 m af te lezen. Het bood ook interessante perspectieven inzake tijdreductie gezien de vooruitzichten om op elk ogenblik nauwkeurig de zeespiegelhoogte ten opzichte van een referentievlak te kennen en die direct op de gemeten dieptes te kunnen invoeren.

Vanaf 1995 is de *multibeam* bathymetrie operationeel geworden. Die laat toe in *real time* strookvormige lodingskaarten met zeer hoge resolutie en precisie op te nemen en onmiddellijk gedetailleerde en nauwkeurige hydrografische kaarten af te leveren. Tegelijk is ook belangstelling gerezen om satellietbeelden te gebruiken voor bathymetrische doeleinden.<sup>25, 26</sup>

Van groot nut voor de directe waarneming van het zeebodemreliëf en voor de studie van de mobiliteit van zandgolven en megaribbels was de ontwikkeling van de *side scan sonar* technologie tussen 1970 en 1980. Later werden *software* programma's ontwikkeld die toelieten mozaïeken te maken met aansluitende parallelle sonogrammen.

## 5. – De geomorfologische risico- evaluatie op de Vlaamse Banken in 1985-95

Het doel van dit deel is te tonen wat rond 1970 mogelijk was inzake onderzoek naar de stabiliteit van het zeebodemreliëf op de Vlaamse Banken, wat men in de periode 1985-1995 kon verwezenlijken en welke methodes daarbij gebruikt of ontwikkeld werden.

Het steunt grotendeels op het onderzoekswerk dat door terreinwaarnemingen en door laboratoriumverwerkingen tussen 1980 en 1995 uitgevoerd is aan het Laboratorium voor Fysische Aardrijkskunde van de RUG onder leiding van Guy De Moor. Bijlage 1 geeft een overzicht van de campagnes die gedurende dit onderzoek op de Vlaamse Banken in de periode 1980-1995 uitgevoerd zijn.

De opname- en verwerkingstechnieken voor evaluatie van geomorfologische risico's die in de periode 1985-1995 op de Vlaamse Banken gebruikt werden zullen toegelicht worden. Omwille van het verschil in nauwkeurigheid zijn de data van vòòr 1985 niet verder gebruikt.

Het is niet de bedoeling hier pro-actieve voorspellingen over de zeebodem-evolutie te doen. Bij natuurlijke processen mag de predictieve betekenis van

25. WENSINK, G.J., HESSELMANS, G.H.F.M., CALCOEN, C.J. & VOGELZANG A. (1996). *The Bathymetry Assessment System (BAS)*. Rotterdam, Hydro '96, Tenth Biennial International Symposium of the Hydrographic Society - 2<sup>o</sup> session : New Technology, Proceedings.

26. VANDEVELDE, L., VERNEMMEN, C., DE MOOR, G. & JASPAR, A. (1994). *Detection of Sea-Bottom Topography with ERS-1 SAR.PTI Images on the Belgian Continental Platform*. In : *First ERS-1 Pilot Project Workshop*, Toledo, pp. 303-308" 6 fig., 1 photo, 3 tab.



trendbepalingen niet overschat worden. Zo is het bijvoorbeeld ondenkbaar dat een bankoppervlak in hoogte zou blijven toenemen. Zonder grondige verandering in de zeespiegelstand zou de banktop dan in de veegzone van de golfbasis terecht komen en afgetopt worden. Anderzijds zal verdieping van een geul afgeremd worden wanneer een meer weerstandbiedend substraat bereikt wordt. Outliers in tijdreeksen roepen vragen op in verband met hun ware betekenis, met de wenselijkheid ze te integreren en met hun weerslag op de trendanalyse. Outliers kunnen overeenkomen met uitzonderlijke *events* zoals bij korstondige verlaging door een zware storm gevolgd door herstel. Ze kunnen ook door opnamefouten of door verwerkingsprocedures binnengeslopen zijn. Dit is het geval bij koersafwijkingen waardoor dieptes ingevoerd worden die niet met de diepte langs de referentielijn overeenstemmen (zie ook nota 35).

Het is ook niet de bedoeling mechanismen en oorzaken van hoogteveranderingen ten gronde te behandelen, noch om het wetenschappelijk onderzoek op dit gebied in zijn totaliteit te verslaan.

#### 5.1. – *Analyse van hypsometrische kaarten*

Mariene hypsometrische kaarten geven het zeebodemreliëf weer door hoogtelijnen die met een min of meer groot gelijkhoogteverschil getrokken zijn. Hydrografische kaarten zijn in feite bathymetrische kaarten die de diepte beneden een nulvlak voorstellen en die in de eerste plaats gemaakt zijn om de nautische veiligheid te garanderen.<sup>4</sup>

##### 5.1.1. – *Vergelijking van isohypsentracé's*

Visuele vergelijking van het tracé van hoogtelijnen door superpositie van opeenvolgende hypsometrische kaarten laat toe de verschuiving van de hoogtelijnen<sup>27</sup> te gebruiken voor evaluatie van de morfodynamiek. Naast cartografische uniformiteit (projectie, referentie-ellipsoïde, schaal, gelijkhoogteverschil) bepalen de resolutie van lodingspunten, de interpolatie-techniek en de subjectiviteit bij het traceren van de hoogtelijnen de bruikbaarheid van deze methode.

##### 5.1.2. – *Stabiliteitskaarten*

Een stabiliteitskaart toont voor elke bank de stabiele kern en de omgevende risicozone die op het gekozen hoogtevlak in de gekozen periode voorkomen. Die geomorfologische risicozone is een gebied waarbinnen verschuivingen van de gekozen hoogtelijn optreden en dus hoogteveranderingen plaatsgrijpen.<sup>27</sup>

27. Een hoogtelijn (of isohypse) is de snijlijn van het oppervlak (in dit geval het bankoppervlak) met een „horizontaal” vlak gelegen op een bepaald peil. Het verloop van die hoogtelijn staat op de gedateerde hypsografische kaart aangegeven. In het geval van een bank schuift de hoogtelijn bij verhoging van het oppervlak weg van het centrum van de bank. Ze schuift naar de bankkern toe bij verlaging van het oppervlak. Vermits het reliëf hier in feite zeer vlak is, zoals figuur 7 toont, kan een geringe verandering van de hoogteligging reeds belangrijke verschuivingen van de isohypse ten gevolge hebben.



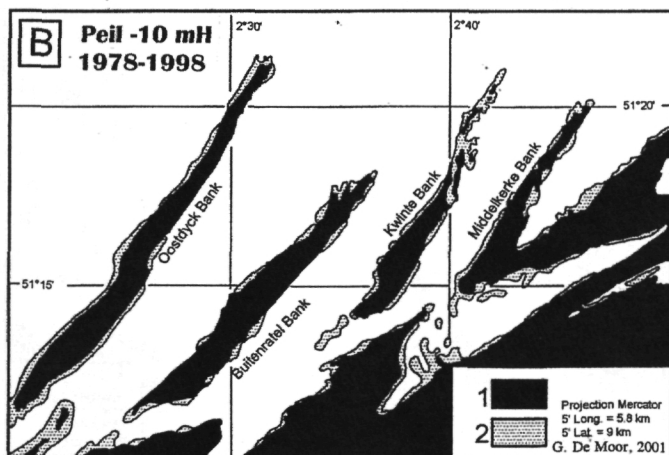
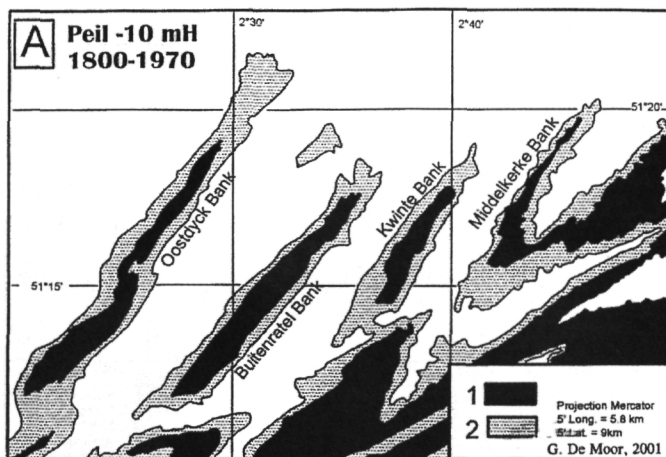


Fig. 14. — Vlaamse Banken : Kaart van stabiele kernen en risicozones.  
1 = Stabiele kern 2 = Risicozone

Om een stabiliteitskaart voor een bepaald peil op te stellen gebruikt men een sequentie hoogtelijnenkaarten op dezelfde schaal. Men tekent de opeenvolgende tracé's van de gekozen hoogtelijn gesuperponeerd op één kaart en trekt dan op die synthesekaart de inwendige en de uitwendige omhullenden van de bundel hoogtelijnen. Voor elk peilvlak en voor de periode van de kaartsequentie is de stabiele kern begrensd door de inwendige omhullende van die isohypsenbundel. De risicozone komt overeen met de zone tussen beide omhullenden. Ze bestaat in feite uit sectoren waarin afwisselend afzetting (en dus verhoging) en erosie (en dus verlaging en terugschrijden van de bankflanken) optreden met een wisselend residueel effect.

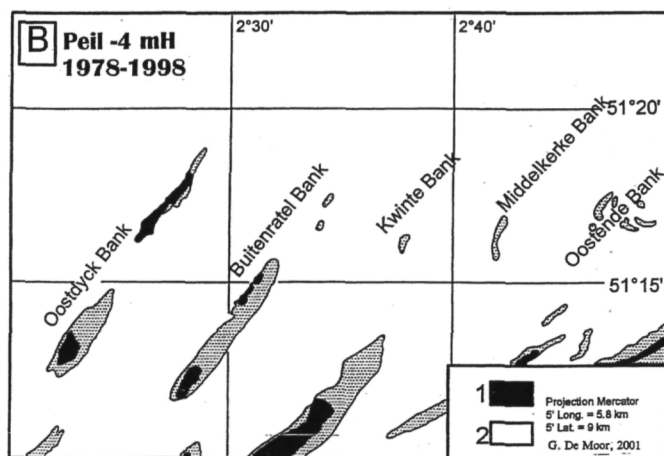
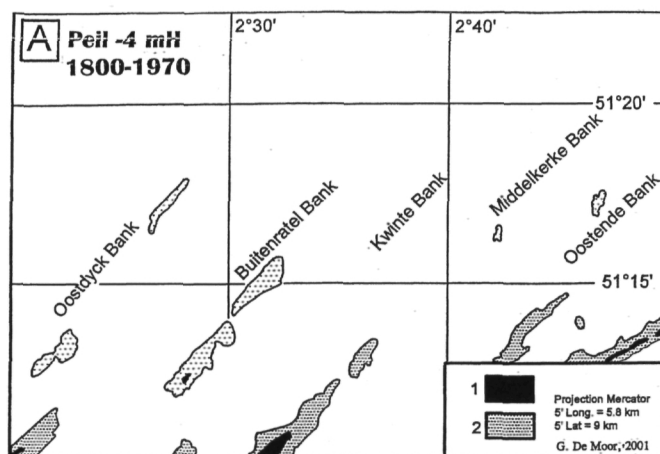


Fig. 15. — Vlaamse Banken : Kaart van stabiele kernen en risicozones.  
1 = Stabiele kern 2 = Risicozone

In 1971 heeft C. Van Cauwenberghe<sup>28</sup> stabiliteitskaarten voor verschillende isohypse vlakken getekend voor de Vlaamse Banken voor de periode 1800-1970. Daarbij is gebruik gemaakt van de hydrografische kaarten opgemaakt door de Hydrografische Dienst te Oostende voor de jaren 1801, 1866, 1882, 1903, 1929, 1939 en 1968. Voor de periode 1978-1998 zijn er nieuwe stabiliteitskaarten opgesteld op basis van de hydrografische kaarten van 1978, 1985, 1992 en 1998.

Figuren 14A en 14B tonen de stabiele kernen en de geomorfologische risicozones op het peil -10 mH op de Vlaamse Banken, respectievelijk voor de periodes 1800-1970 en 1978-1998. Vergelijking suggereert dat de stabiele ker-

28. VAN CAUWENBERGHE, C. (1971). *Hydrografische analyse van de Vlaamse Banken langs de Belgisch-Franse kust*. In : *Het Ingenieursblad*, 40 (19), pp. 563-571, 7 fig.

nen in de laatste fase een grotere uitbreiding gekregen hebben. Het lijkt nochtans weinig waarschijnlijk dat de risicozones in de periode 1800-1970 zoveel groter en de morfodynamiek en sedimentmobiliteit zoveel belangrijker zouden geweest zijn. Die vergelijking toont ook een merkwaardige aangroei van zandvanen op de uiteinden van de banken.

De figuren 15A en 15B tonen de ligging van stabiele kernen en risicozones op het peil -4 mH voor de periodes 1800-1970 en 1978-1998. Vergelijking toont een merkwaardige toename van de stabiele kernen maar ook van de risicozones in de laatste periode. Die veranderingen suggereren verhogingen toe te schrijven aan toegenomen migratie van zandgolven of megaribbels naar de banktoppen en ondersteunen het idee van een maintenance-mechanisme.<sup>7, 29</sup>

Stabiliteitskaarten vereisen voldoende betrouwbare en nauwkeurige hypsografische kaarten. Meestal is de tijd verlopen tussen twee opeenvolgende opnames te lang om de evolutie volledig weer te geven. De opname van hydrografische kaarten van de afzonderlijke banken heeft altijd geruime tijd in beslag genomen, vroeger was dit zelfs verschillende jaren.<sup>28, 30</sup> Ondertussen konden zich relevante veranderingen in de bodemtopografie voorgedaan hebben. De kleinere resolutie van de lodingspunten, de geringere nauwkeurigheid van de plaatsbepalingen, de lodingswijze en de tijreductietechniek en ook de subjectiviteit bij het traceren van de hoogtelijnen stellen de betrouwbaarheid van oudere kaartreeksen in vraag. Bij het gebruik van isohypse vlakken houdt men ook onvoldoende rekening met de morfografische en de hydrodynamische positie van het bankoppervlak. Men vindt immers delen van de topzone van de Kwintebank zowel op het peil -4/-5 mH als op het peil -12/-15 mH.

Stabiliteitskaarten leveren geen numerische waarden voor de hoogteveranderingen. Veranderingen van specifieke vormen (zoals zandgolven) komen evenmin tot uiting.

## 5.2. – Analyse van sequentiële profielen

Hier vergelijkt men hypsometrische profielen die met min of meer grote tussentijden opgenomen zijn. Men kan die tussentijden aanpassen aan het beoogde doel, zoals in het geval van seizoenale opnames of van onderzoek naar effecten van getijstanden of van stormperiodes. Fundamenteel is dat de profielen op vaste lijnen liggen en vergelijkbaar<sup>31</sup> zijn.

29. DE MOOR, G. (1989). *Maintenance on the Flemish Banks*. In : J-P. HENRIET, G. DE MOOR & M. DE BATIST (Eds.) : *Tertiary and Quaternary Geology of the Southern Bight*. Brussels. Ministry Economic Affairs, pp. 185216, 17 fig.

30. VAN CAUWENBERGHE, C. (2000). *Interrelationship between Hydrography, Sedimentology and Modelling*. In : TRENTESAU A. & GARLAN, T.(Ed.) : *Marine Sandwave Dynamics*. Lille, University of Lille, Proceedings International Workshop. pp. 201-204.

31. Vergelijkbaarheid van profielen houdt o.a. in dat de schalen van de grafische doorsnede uniform zijn en gelijk blijven, dat de schaalverhouding dezelfde is en ook dat de peilen naar eenzelfde nulvlak herleid zijn.

### 5.2.1. – *Profieltypes*

#### 5.2.1.1. – Kaartprofielen

Kaartprofielen worden afgeleid van bestaande lodingskaarten waarop dieptes per meetpunt vermeld staan of van hydrografische kaarten waarop het profiel de hoogtelijnen snijdt. De kwaliteit van de profielen hangt af van die van de kaart, meer bepaald van de schaal, van het gelijkhoogteverschil, van de resolutie van de lodingspunten, van de interpolatiewijze, enz. Profielen afgeleid van kaarten met grote schaal en resolutie hebben een grotere nauwkeurigheid. Toch blijft de getrouwheid van die profielen in vraag gesteld. Bij de opmaak van zulke doorsneden worden dikwijls dieptegegevens van afgelegen lodingspunten op de profiellijn geprojecteerd. In gebieden met zandgolven riskeert men dan afwijkende dieptewaarden in te voeren.

#### 5.2.1.2. – Echogramprofielen

Dit zijn profielen bekomen door opname en verwerking van operationele analoge of digitale echogrammen. Analoge echogrammen werden eerst gedigitaliseerd om de tijreducties in te voeren en dan tot hypsometrische doorsneden verwerkt. Met digitaal opgeslagen diepte- plaats- en tijdgegevens werden brutoechogrammen gerestitueerd en herleid tot hypsometrische doorsneden. Voor elke stap werd originele programmatuur ontwikkeld gedurende het pilootproject „Kwintebank” in 1980-84.<sup>32</sup> De verder bespreking is gesteund op echogrammen opgenomen gedurende de onderzoekingscampagnes in de periode 1985-1995.

32. De programmatuur werd hoofdzakelijk ontwikkeld vòòr 1987 op het Laboratorium voor Fysische Geografie (RUG) door ir. Ph. VAN OVERMEIRE voor gebruik op een HP 1000 mainframe. Daarbij zijn speciale HP-procedures geïmplementeerd. Ze werd later aangevuld en uitgebreid door lic. inform. P. VANDENBROECKE en door lic. inform. E. DE WINNE.

Sommige programmagedeelten zijn later toegevoegd voor gebruik op PC (zoals voor opname van SYLEDIS-coördinaten aan boord van TER STREEP) en om compatibiliteit met de computeruitrusting a/b van Belgica en van Ter Streep te bekomen (G. DE SCHAEPMEESTER fecit).

De voornaamste elementen uit deze programmatuur zijn :

#### **I. - Procedure vertrekkend vanaf een analoog opgenomen echogram :**

##### 1.1. – Digitalisatie van analoog geregistreerde echogrammen het programma TDIGPRONGT

Digitalisatie is o.a. nodig omdat de originele echogrammen een zeer grote lengteschaal hebben (van de orde van 1:200) zodat reductie van de lengteschaal (naar een schaal van de orde van 1:10000) en aanpassing van de schaalverhouding (naar een waarde van de orde van 1:40) onontbeerlijk zijn om tot overzichtelijke profielen te komen die een synthetisch beeld geven en die ook grafisch te reproduceren zijn. Ze is ook nodig om de correcties en tijreductie op de gedigitaliseerde data in te voeren vòòr het uitplotten van de netto-profielen.

##### 1.2. – Berekenen van de tijcorrectie (M2 methode) : programma KORPRO (p.p.)

##### 1.3. – Snelheidscorrectie : programma KORPRO (p.p.)

##### 1.4. – Invoeren van de correcties op de data van het gedigitaliseerd echogram : programma KORPRO (p.p.)

##### 1.5. – Uitplotten van het hypsometrisch profiel : programma PLOTPRO

### 5.2.2. – Opname van de echogrammen

De opname van geschikte echogrammen stelt zware eisen inzake navigatie, plaatsbepaling, dieptemeting, scheepssnelheid, lodingsfrequentie en opnamefrequentie. Ligging en oriëntatie van de vaste vaarlijnen zijn eveneens van groot belang. Ook diende rekening gehouden met de vereiste om elk jaar binnen een beperkte vaartijd toch een voldoende aantal campagnes uit te voeren teneinde een representatieve opvolging van de veranderingen te bekomen, om bij elke campagne het geheel van de banken te bestrijken met een voldoende dichtheid van de vaste lijnen, om voldoende data te verzamelen en om tegelijk te vermijden dat er zich binnen de opnametijd relevante hoogteveranderingen zouden voorgedaan hebben. Dit waren de voornaamste redenen waarom men bij het onderzoek op de Vlaamse Banken in 1980-1995 profielopnames langs vaste lijnen als werkmethode aangehouden heeft. In de periode 1980-1995 werden elk jaar minstens 4, meestal seizoengebonden campagnes uitgevoerd op de Vlaamse Banken.

(a) De vaste lijnen werden zo gesitueerd dat elke morfologische of hydrodynamische zone door minstens één vaste lijn gedekt is. In het geval van de Vlaamse Banken werden vaste lijnen gelegd over de energierijke noordzijde,

- 1.6. – Berekenen van oppervlakte van de doorsnede en eventueel van het eenheidsvolume langs vaarlijnen tussen vaste eindpunten met behulp van digitale gegevens over gecorrigeerde diepte en positie van lodingspunten afgeleid van echogrammen en/of digitaal geregistreerd (programma VOLUMPRO).

In het programma VOLUMPRO wordt de oppervlakte  $S$  van de doorsnede boven het grensvlak berekend door sommatie van de trapezoidale profielelementen ( $E_1$  ;  $E_{n-1}$ ) begrepen tussen de vaste eindpunten  $P_1$  en  $P_n$ , en elk begrensd door de punten  $P_m$  en  $P_{m+1}$  met als respectievelijke hoogte  $h_m$  en  $h_{m+1}$  t.o.v. het grensvlak ( $m$  = rangnummer van het element) en met een lengte gelijk aan een vaste stap  $p$ .

$$S = \sum_{i=1}^m \{ (h_m + h_{m+1}) / 2 \} * p$$

## 2. - Procedure vanaf digitale dieptegegevens geregistreerd a/b van BELGICA of van TER STREEP.

- 2.1. – Omzetting van de ODAS-datafiles (a/b BELGICA) tot Dfix-files : programma TCDFDAT of : omzetting van de NAVISOFT-datafiles (a/b TER STREEP) naar ASCII-files : vanaf 1993 programma CONVER (PC compatiebel Borland Pascal programma). Voordien werden de SYLEDIS-posities a/b van TER STREEP geregistreerd met behulp van een mobiele PC verbonden met de SYLEDIS ontvanger. Voor de acquisitie werd hier gebruik gemaakt van het programma COMMVPRG

Voor ODAS : zie onder (36)

- 2.2. – Omzetting van de ASCII-files naar Dfix-files voor invoeren op de HP 1000 : programma TSTREEP
- 2.3. – Gecombineerde uitvoering van de bewerkingen onder (1.2), (1.3) en (1.4) programma DKORPRONGT 2.4.- Uitplotten van het hypsometrisch profiel : programma DPLOTPRO
- 2.5. – Berekenen van profieloppervlakte en eventueel van eenheidsvolumes : programma DVOLUMPRO

## 3. - Regressie-analyse op tijdreeksen : zie verder onder (39).



(b) Om de eisen inzake ligging, oriëntatie en opnametijd te verzoenen met de nautische vereisten voor bevaarbaarheid van banken met ondiepe gedeelten en grote tij-amplitudo werden reeds van bij de aanvang van het pilootproject „Kwintebank” in 1980-83 de rode Decca-nulfaseverschilhyperbolen als referentielijnen gekozen omdat die in het gebied van de Vlaamse Banken nagenoeg loodrecht op de bankas verlopen op een geregelde afstand van ongeveer één mijl.

De hoofd- en volgzendstations (zie bijlage 4) van het Zuid Engels 5B-DECCA-net dat de Vlaamse Banken bestrijkt liggen zo ver van dit gebied af dat de armen van de nulfaseverschilhyperbolen bijna samenvallen met loxodromen. Wegens systeemfouten <sup>34</sup> op de Decca-posities en geringere precisie van de plaatsbepalingen werden de resultaten uit 1980-83 uit latere tijdreeksen geweerd.

Na 1984, wanneer het SYLEDIS systeem beschikbaar kwam, werden de vaste vaarlijnen langs Decca-hyperbolen vervangen door referentieloxodromen die de rode nulfaseverschilhyperbolen <sup>18</sup> van het radio-elektronisch Decca 5B-net onderspannen tussen vaste begin- en eindpunten (fig. 16). Die loxodromen behielden de Decca-nummering van de corresponderende hyperbool. Zowel Decca- als geografische coördinaten van de eindpunten werden nauwkeurig bepaald zodat die punten bruikbaar gebleven als *W-points* ook nadat het uitzenden van de Decca-signalen in 1996 gestopt was.

(c) Om bij elke opname precies dezelfde vaste lijn (referentieloxodroom) aan te varen en te blijven volgen werden vanaf 1985 plaatsbepaling en navigatie uitgevoerd met SYLEDIS. Empirisch werd vastgesteld dat de Syledis-posities zowel binnen het navigatiesysteem als geografisch voldoende nauwkeurig waren. Bovendien werd de scheeproute continu opgevolgd met een *left-right indicator* terwijl *real time track plotting* toeliet toe rechtstreeks en continu de scheeproute te vergelijken met de referentieloxodroom.

A posteriori werden altijd afwijkingsgrafieken opgesteld (fig. 17) aan de hand van de *trackplots* (fig. 18). Profielen gevaren met afwijkingen van meer dan 20 m werden voor de trendbepalingen in deze bijdrage geweerd. Hierdoor werden de koerscorrecties <sup>35</sup> die aanvankelijk ingevoerd werden overbodig. Dat de

34. Decca-systeemfouten zijn te wijten aan verschillende oorzaken. *Lane slip* veroorzaakt verkeerde identificatie van de nulfaseverschilhyperbolen (d.w.z. de *lanenummers*) en is vooral toe te schrijven aan verschuivingen van de reflecterende ionosferische lagen waardoor de looptijd van de gebruikte atmosferische radiogolven verandert. Dit komt meest voor 's nachts en bij de schemeringen. Benaderende correcties zijn mogelijk. Ook andere, meer toevallige atmosferische of lokale omstandigheden kunnen de reflectie en de propagatie van de radiogolven beïnvloeden. *Random errors* worden meestal veroorzaakt door interferentie van de atmosferische radiogolven en de grondgolven. *Fixed errors* worden veroorzaakt door verschil in looptijd langs het werkelijke golfpad dat deels over land kan lopen, en langs een *all water* pad. De impact is dikwijls gekend en de fout kan verbeterd worden. Zie verder o.a. BOWDITCH, N (1977-81). *American Practical Navigator*, p. 1011-1012 ; SONNENBERG, G.J. (1975). *Elektronische navigatiemiddelen*.

35. Gedurende het pilootproject Kwintebank, toen alleen Decca ter beschikking stond voor navigatie en plaatsbepaling en de afgevaaren lijnen herhaaldelijk grote afwijkingen ten opzichte van de

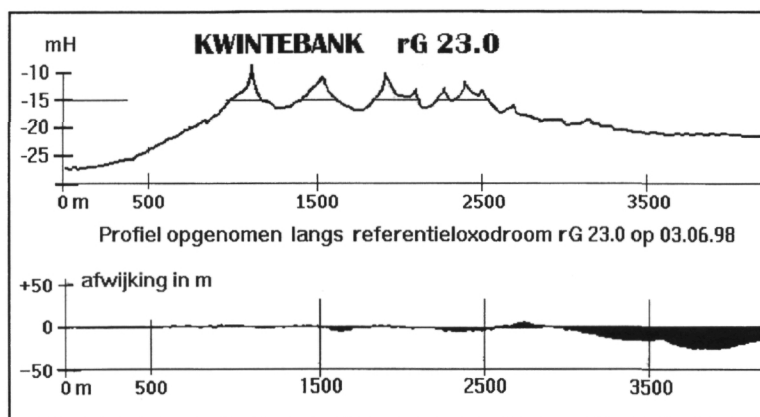


Fig. 17. — Afwijkingsgrafiek bij de opname van een echogram.

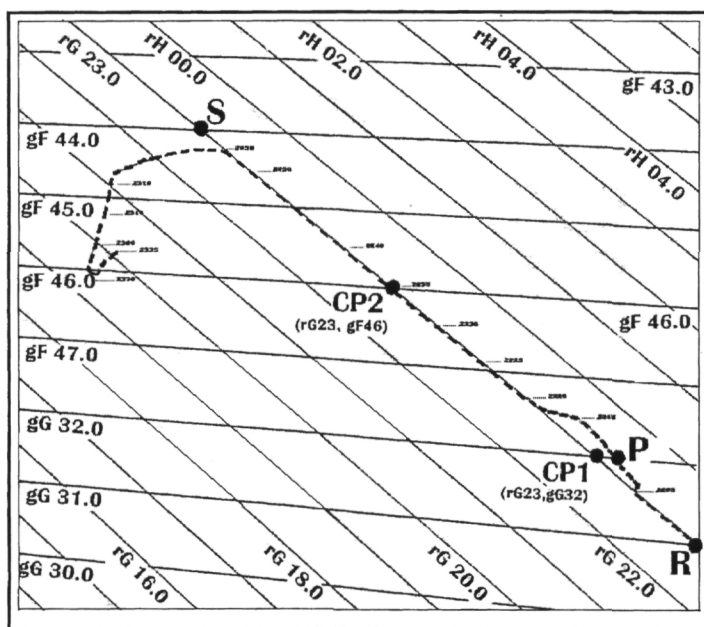


Fig. 18. — IJking van een hypsometrisch profiel.

referentielijnen vertoonden, werd een koerscorrectie ontwikkeld en in de verwerkingsprocedure geïmplementeerd (32). Hiermee werd getracht de afgevaren profielgedeelten die grote afwijkingen vertoonden te projecteren op de referentielijn. Vanaf 1985 toen een groot aantal voldoende conforme echogrammen ter beschikking kwamen na implementatie van Syledis, werd aan deze koerscorrectie minder aandacht besteed omdat projectie van de bodemtopografie langs een afwijkende lijn naar de referentielijn geen restitutie van het bodemrelief langs die referentielijn zelf garandeert en men dus toch geen vergelijkbare profielen bekomt indien de originele vaarroute teveel afwijkt.



profielen niet afwijken van de vaste vaarlijn is vooral van belang voor het bovenste bankgedeelte omdat geringe diepte-afwijkingen daar reeds grote fouten bij de oppervlaktebepaling van de doorsnede veroorzaken en outliers in die tijdreeksen kunnen invoeren.

(d) Om gelijkschalige echogrammen te bekomen, wat nodig is om profielen visueel te kunnen vergelijken, werd de snelheid van het schip gedurende de opname van elk profiel constant gehouden. Scheepssnelheden werden geregistreerd.

(e) De dieptelodingen moeten nauwkeurig zijn en met grote lodingsfrequentie gebeuren om de kleinere reliëfsvormen (zoals megaribbels) te kunnen registreren alhoewel de afstand tussen opeenvolgende meetpunten langs de vaarlijn ook afhangt van de scheepssnelheid over de grond.

Bij het onderzoek op de Vlaamse Banken in 1985-1995 zijn de analoge bruto-echogrammen opgenomen met het *single beam* hydrografisch lodingssysteem DESO XX met een dieptenauwkeurigheid beter dan 20 cm, een lodingsfrequentie van 2 Hz en signaalfrequenties van 210 en 30 kHz. Deze hoge lodingsfrequentie geeft een grote lodingsresolutie. Ze laat toe om bij een scheepssnelheid van 10 kts en een diepte van minder dan 50 m, lodingen te doen om de 2.5 m en aldus individuele megaribbels op de echogrammen te zien. Door de dubbele signaalfrequentie kan men het voorkomen van een sliblaag boven het meer geconsolideerde zandoppervlak detecteren.

Vanaf 1992 werd een TSS320B (Belgica) deiningscompensator geïmplementeerd in het echolodingsstelsel om deiningseffecten op de dieptemetingen te elimineren. Aanvankelijk werden de lodingen gestopt als een golfhoogte van 2 m bereikt werd. Veranderingen in de diepgang zijn opgevolgd op de Plimsoll en regelmatig verrekend door lodingsijking. Dieptemetingen werden gecalibreerd voor de temperatuur- en saliniteitsgebonden geluidssnelheid met een SCTD-sonde.

(f). Aan boord van BELGICA werden tijd, positie en diepte hoogfrequent en in *real time* digitaal geregistreerd met de HP *mainframe* A600 boordcomputer en de beschikbare ODAS-programmatuur.<sup>36</sup> Aanvankelijk gebeurde dit om de seconde en vanaf 1992 om de halve seconde. Die digitale gegevens zijn nodig om snelheidscorrecties en tijdreducties te kunnen uitvoeren en om de analoge echogrammen te kunnen restitueren.

36. ODAS (MUMM's Oceanographic Data Acquisition System) is een zeer uitgebreide programmatuur speciaal ontworpen voor de behoeften aan boord van BELGICA in beheer van het Mathematisch Model Noordzee. Het laat toe een groot aantal nautische, meteorologische en oceanografische karakteristieken op te volgen en op te slaan en ook een groot aantal parameters gemeten door diverse groepen onderzoekers naar eigen selectie te activeren, op te slaan in databanken en te kopiëren naar magnetische dragers waardoor digitale gegevens voor verdere verwerking naar afzonderlijke bestemmingen kunnen overgedragen worden. Bij dit onderzoek was vooral de opslag van de digitale gegevens over diepte, tijd en posities van belang in verband met de reconstructie van de *track plots* en het uitwerken van de hypsometrische profielen.

(g) Om impact van veranderingen in de bodemtopografie gedurende de opname zoveel mogelijk te vermijden werden bij elke campagne de referentielijnen over elke bank binnen één of hoogstens twee opeenvolgende getijden afgevaaren.

#### 5.2.3. – *Herleiding van echogrammen tot vergelijkbare hypsometrische doorsneden*

Om de bruto echogrammen om te zetten tot vergelijkbare hypsometrische doorsneden zijn verschillende bijkomende stappen nodig.

(a) Alhoewel de scheepssnelheid gedurende de opnames zoveel mogelijk constant gehouden werd, bleven grondsnelheidswisselingen van het schip toch onvermijdelijk waardoor de afstandschaal op de echogrammen wisselingen vertoonde. Die effecten werden weggewerkt door snelheidscorrecties met behulp van een specifieke programmatuur.<sup>32</sup> Deze correcties vereisen de acquisitie van frequente en nauwkeurige plaatsbepalingen en van de scheepssnelheid.

(b) Na uniformisatie van de lengteschaal blijft tijreductie nodig om vergelijkbare hypsometrische profielen te bekomen. Bij het onderzoek op de Vlaamse Banken in 1985-95 werden per 10 minuten tijreducties berekend met de M2 methode<sup>23, 24</sup> en een specifieke programmatuur. De daartoe nodige tijkrommen werden eveneens aangeleverd door de Hydrografische Dienst te Oostende en voor gebruik in de reductieprocedure gedigitaliseerd.

(c) Uiteindelijk werd een conformiteitscontrole uitgevoerd om die profielen te weren die spijs de uitgevoerde correcties nog steeds niet vergelijkbaar bleven.

Eerst werd het samenvallen van gelijke dieptevlakken bij superpositie van de hypsometrische profielen nagegaan. Daarna werd een afstandsijking toegepast langs de lengteas van het hypsometrisch profiel door de vaste afstand (de referentie-afstand) tussen twee niet aan de bank gefixeerde vaste punten te vergelijken met de overeenkomstige afstand gemeten op het hypsometrisch profiel. Die vaste punten bestonden uit de snijpunten van de afgevaaren raai met een meridiaan of met een groene Decca-radio-hyperbool. Zulke punten zijn CP<sub>1</sub> en CP<sub>2</sub> op figuur 18.

#### 5.2.4. – *Verwerking van de profielsequenties*

##### 5.2.4.1. – *Vergelijkende analyse van profielsequenties*

De hoogteveranderingen, hier gebruikt als parameter voor evaluatie van geomorfologische risico's, worden bepaald door visuele vergelijking van opeenvolgende netto hypsometrische profielen hetzij door grafische superpositie, hetzij door grafische rangschikking in een chronologische successie. In het eerste geval bekomt men hoogteverschilprofielen, in het tweede seriële profielen. Bij profielsuperpositie moeten de controlepunten op de opeenvolgende profielen op elkaar liggen. Bij seriële profielen dienen deze punten opgelijnd onder elkaar te liggen.

Deze visuele methodes laten een kwalitatieve evaluatie toe. Ze worden veel gebruikt om de dynamiek van zandgolven te volgen. Dan moet men wel zeker zijn dat men dezelfde migrerende vormen volgt. De opnamefrequentie moet groot genoeg zijn en de opnames moeten voldoende lang voortgezet worden om schijnbare stabiliteit wegens stroboscopische effecten uit te sluiten. Er worden geen numerische data aangeleverd waardoor een echte trendanalyse uitgesloten is en een cartografie van de resultaten alleen benaderend blijft.

#### 5.2.4.2.1. – Hoogteverschilprofielen

Dit zijn samengestelde profielen waarop twee opeenvolgende profielen boven elkaar gesuperponeerd worden. Superpositie van meer dan twee profielen wordt onduidelijk.

Figuur 19 illustreert de reliëfsevolutie in de periode 1991-95 langs rH02.00 op de noordzijde van de Middelkerkebank aan de hand van hoogteverschilprofielen van verschillende duur. Hoogteveranderingen verliepen er traag en waren er weinig belangrijk. Die ontstaan binnen enkele uren waren er bijna even groot als die gevormd over verschillende jaren. Zandgolven vertoonden oscillaties over korte afstand. De toppen van de zandgolven kenden er korte fasen van winst en verlies op wisselende zijden. Beide suggereren sedimentoverdracht gerelateerd aan vloed- en ebstromen. Over langere duur (fig. 19C) komt er toch een zwakke verschuiving naar het noordoosten. Die kan wijzen op migratie met de vloedpiekstroom mee. Omdat de steile zijde naar het zuidwesten gericht bleef kan zandaanvoer met de ebstroom niet uitgesloten worden.

#### 5.2.4.2.2. – Seriële profielen

De figuren 20 en 21 tonen seriële profielen die de reliëfsevolutie in de periode 1986-95 langsheen de transversale rG 19.0 op de Middelkerkebank en in de Ratelgeul illustreren. Opvallend is de stabiliteit van de bankflanken en van de geulbodems over een tijdsspanne van tien jaar.

#### 5.2.4.2.3. – Veegzonedoorsneden

De veegzone is dat bovenste gedeelte van het zeebodemoppervlak dat over de jaren heen, meestal seizoensgebonden, achtereenvolgens ingesneden en terug opgehoogd wordt. Daarbij kan residuele verlaging optreden. De basis van de veegzone komt dan steeds lager te liggen. Die basis vormt het oppervlak dat binnen de beschouwde periode nooit ingesneden geweest is. Evolutie van veegzone en veegzonebasis zijn belangrijke argumenten in een geomorfologische risico-evaluatie. Men bekomt een veegzonedoorsnede door alle profielen op éénzelfde drager over te brengen en de bovenste en onderste omhullende te tekenen.

Figuur 22 vergelijkt de veegzone langs de transversale rG21.0 met die langs rG19.0 op de Kwintebank. Ze illustreert de geomorfologische-risicoverschillen langs die lijnen. In de periode 1992-95 is sterke residuele verlaging opgetreden nabij de vaste lijn rG 21.0 op de westkant van het noordelijk-centraal deel van

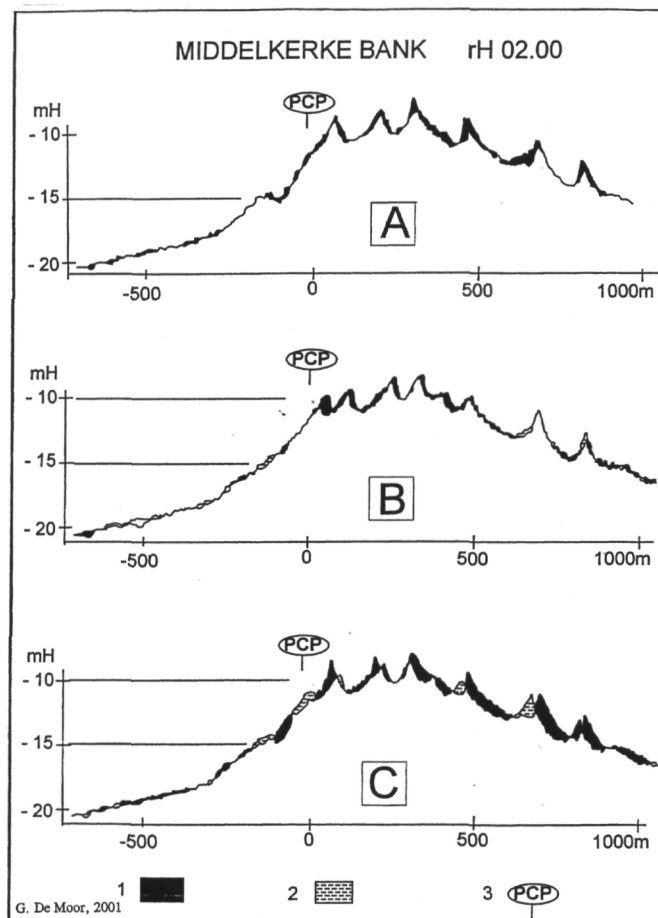


Fig. 19. — Belang van de morfologische veranderingen.  
 Profielsuperpositie op de noordzijde van de Middelkerkebank.  
 A = over 1 uur (op 07.02.92 tussen 0u40 en 1u30)  
 B = over 3 wintermaanden (tussen 16.12.94 en 07.02.95)  
 C = over 3 jaar (tussen 10.07.92 en 07.02.95)  
 1 = verlaging    2 = verhoging    3 = controlepunt

de Kwintebank. Dit is in een zandwinningszone maar tevens nabij de bankkink zodat stromingsimpact niet uit te sluiten is.

#### 5.2.4.2.4. – Voortschrijdende profielreeksen

Hierbij een stelt men hoogteverschilprofielen voor twee opeenvolgende data voor in een chronologische successie. Figuur 23 toont duidelijk de geleidelijke ontwikkeling van een depressie op de westkant van het noordelijk-centraal deel van de Kwintebank.

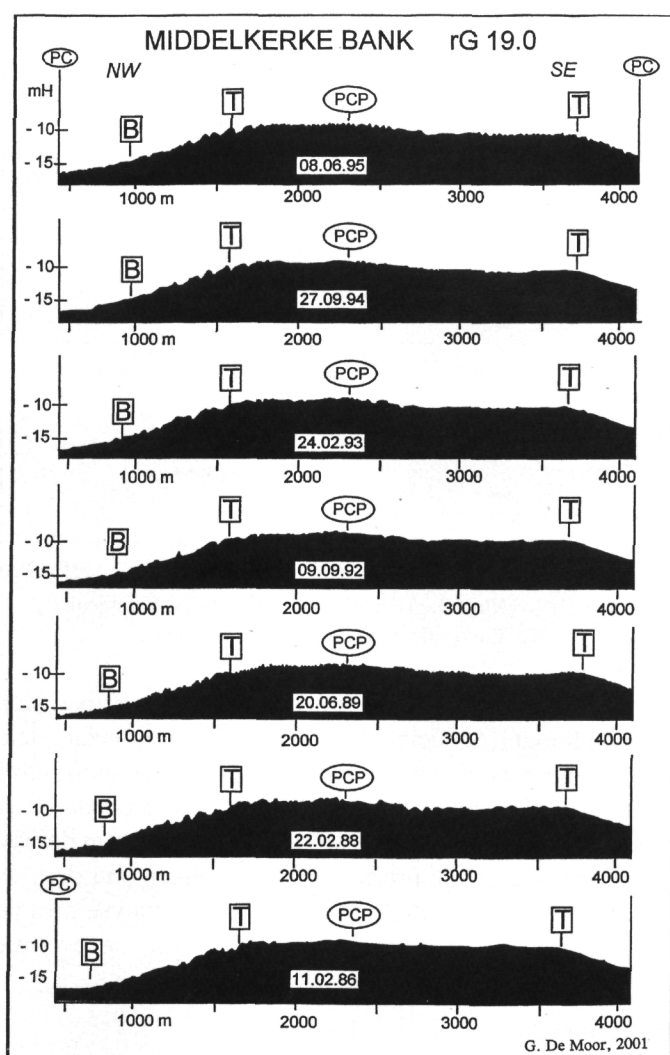


Fig. 20. — Morfologische veranderingen over 10 jaar (1986-95).

Seriële profielen op het midden van de Middelkerkebank.

T = topconvexiteit B = basisconcaeviteit PC, PCP = controlepunten

Om numerische trendbepalingen te bekomen zijn echter andere middelen nodig.

#### 5.2.4.2. – Trendbepaling met profielsequenties

Hierbij gebruikt men een tijdsreeks van waarden voor een morfometrische parameter die indicatief is voor de bestudeerde hoogteverandering. Die waarden worden voor elke referentielijn hetzij direct gemeten op de opeenvolgende pro-

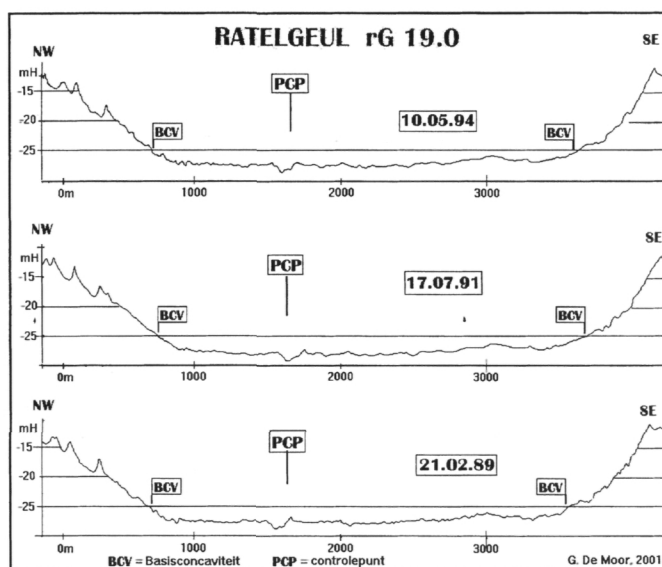


Fig. 21. — Morfologische veranderingen in de Ratelgeul.  
Seriële profielen over 5 jaar (1989-1994).

fielen hetzij indirect afgeleid van een gemeten parameter. Zulke parameters zijn o.a. de gemiddelde hoogte van de bank boven een referentievlak, de oppervlakte van de transversale doorsnede van de bank of van een zandgolf, enz.

Deze numerische methodes volgen alle dezelfde procedure : (a) bepaling van de parameter ; (b) meting of desgevallend berekening van de waarde van de parameter op de opeenvolgende profielen ; (c) opmaken van de tijdsreeks voor de bekomen waarden per referentielijn ; (d) regressie-analyse ; (e) bepaling van de evolutietrend voor de parameter ; (f) kartering van de evolutietrends per referentielijn en aflijnen van zones met gelijke risicoklasse.

#### 5.2.4.2.1.-Direct-morfometrische trendanalyse

De trend wordt bepaald op basis van de tijdreeks van een morfometrische parameter die rechtstreeks op het profiel kan gemeten worden. Om de transversale verschuiving van een bank te volgen kan men bijvoorbeeld als parameter de afstand tussen twee topconvexiteiten (TCX) langs een vaste lijn meten op verschillende ogenblikken en er tijdreeksen mee opstellen. Men kan ook de afstand tussen een topconvexiteit of een basisconcaafteit (BCV) en vaste radio-elektronische controlepunten (CP, PCP) gebruiken.

Figuur 24 toont tijdreeksen voor de afstanden PCP-TCX en PCP-BCV voor de referentielijnen rG 19.0 en rG 23.0 op de Middelkerkebank. Ze illustreren dat de bankflanken er gedurende de periode 1987-94 slechts zwakke oscillaties ondergaan hebben. Men kan er wel trendbepaling op de residuele verandering mee doen.

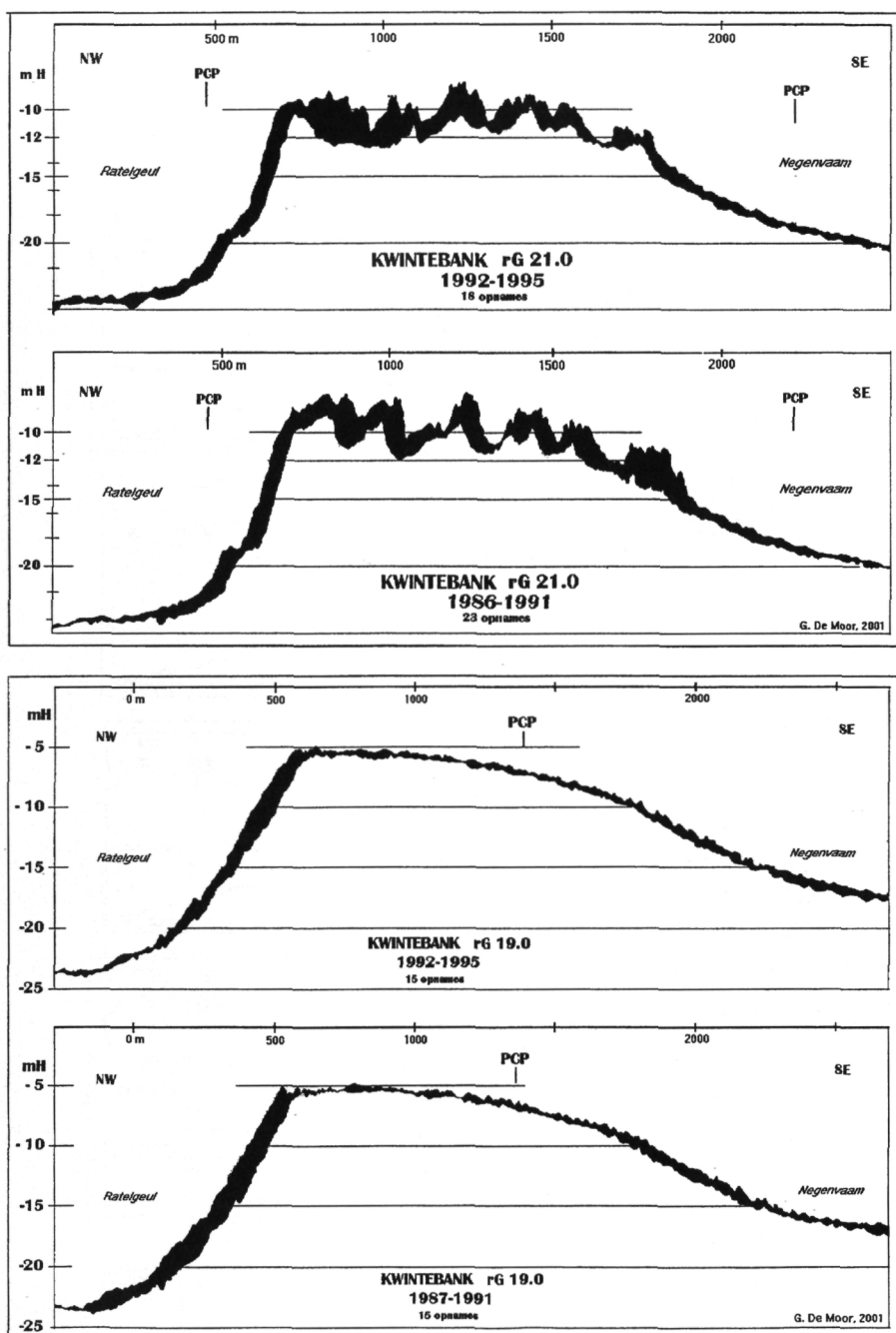


Fig. 22. — Veegzoneprofielen op de Kwindebank.  
Verschillen in evolutie van de veegbasis.

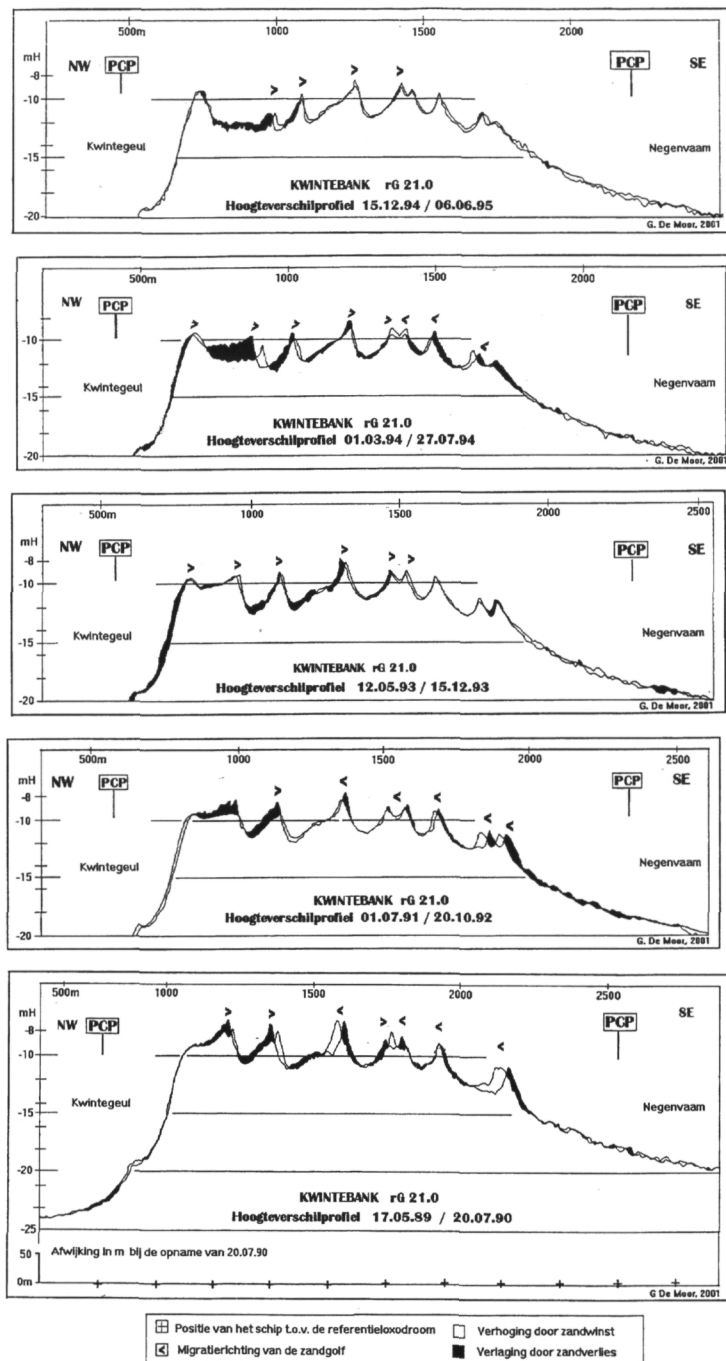


Fig. 23. — Kwintebank referentieloxodroom rG21.0. Voortschrijdende hoogteverschilprofielen 1989-95. Vorming van een depressie op de westkant van de bank in een zandwinningszone langs rG21.0.



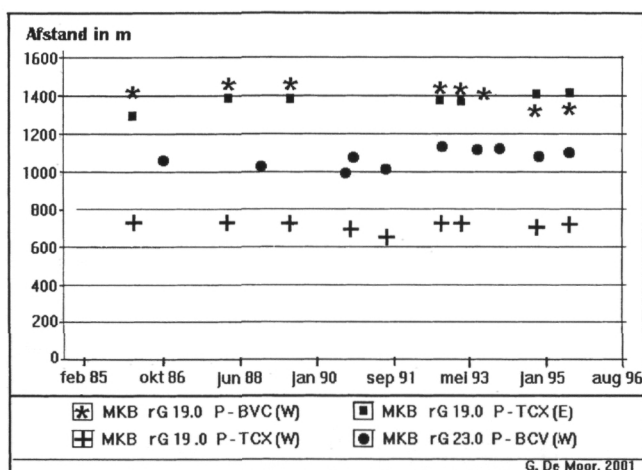


Fig. 24. — Tijdreeksen voor de afstanden tussen een vast controlepunt P en de topconvexiteit TCX of de basisconcaviteit BCV langs de vaste lijnen rG19.0 en rG23.0 op de Middelkerkebank.

#### 5.2.2.3.2.2. – Indirecte morfometrische trendanalyse

Met deze methode berekent men voor elke vaste lijn en bij elke opname de waarde van een morfometrische parameter die niet rechtstreeks op het profiel gemeten is maar die afgeleid wordt van een andere parameter die wel op het profiel of op een kaart gemeten wordt. Men bekomt een numerische waarde voor de parameter waarvoor men tijdreeksen opstelt en trendbepaling doet.

De hier gekozen afgeleide parameter is de gemiddelde hoogte  $h$  van het transversaal vertikaal profiel van een bank of bankgedeelte bij opname. Die hoogte wordt bepaald t.o.v. een basaal grensvlak waarvan het peil vast ligt t.o.v. een referentievlak zoals het H-vlak (fig. 25).

In functie van de morfografische positie van het grensvlak kan men verschillende profieltypes beschouwen. De banktopdoorsnede (TOP) komt overeen met de partiële bankdoorsnede gelegen boven een grensvlak dat door de topconvexiteit passeert. De geulbodemdoorsnede (BOT) komt overeen met de partiële geuldoorsnede gelegen onder het grensvlak dat door de basisconcaviteit van de bankflank passeert. De totale bankdoorsnede (TOT) komt overeen met de bankdoorsnede gelegen boven de basisconcaviteit (fig. 25). De positie van de topconvexiteit en van de basisconcaviteit wordt bepaald door morfografische analyse van de profielen zodat enige subjectiviteit bij de keuze van de preciese positie niet uitgesloten is.

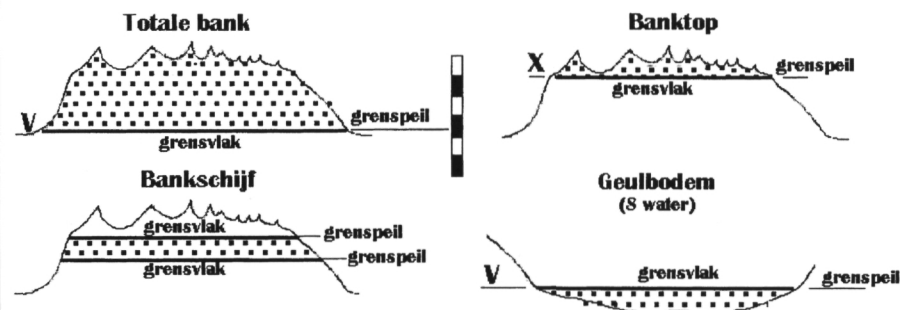
Bij een meer complexe bankmorfologie worden conventionele definities noodzakelijk. Wanneer de topconvexiteit of de basisconcaviteit op de beide bankflanken niet op eenzelfde peil gelegen zijn wordt het grensvlak op de hoogst gelegen hellingsbreuk gelegd. Deze morfografisch bepaalde grensvlakken wor-

## Indirecte morfometrische methode

Parameterdefinitie

### 1.- Primaire parameter $S \text{ (m}^2\text{)}$

Oppervlakte van de verticale transversale doorsnede langs de referentieloxodroom gelegen boven (bank) of onder (geul) een morfografisch grensvlak of tussen twee grensvlakken. Topconvexiteit X en basisconcaviteit V zijn hellingsbreuken waar grensvlakken kunnen gesitueerd worden. De grensvlakken kunnen geassocieerd worden met hypsometrische peilen.



### 2.- Afgeleide parameter $h \text{ (m)}$

De gemiddelde hoogte  $h$  van de doorsnede t.o.v. het grensvlak  
 $L$  = lengte van de doorsnede op het grensvlak

$$h = S/L \text{ (m)}$$

G. De Moor, 2001

Fig. 25. — Indirecte morfometrische methode : Parameterdefinitie.

den geassocieerd met hypsometrische peilen bepaald t.o.v. H. Gedurende het onderzoek op de Vlaamse Banken in 1985-95 werden dezelfde peilen aangehouden.

De waarde voor de gemiddelde hoogte van de beschouwde transversale bankdoorsnede wordt afgeleid van de oppervlakte  $S$  van de doorsnede en van de referentielengte  $L$  van de snijlijn van de bankdoorsnede met het gekozen grensvlak. Daarbij is  $h = S/L$ . De oppervlakte  $S$  werd computermatig berekend met specifieke programmatuur VOLUMPRO.<sup>32</sup> Als referentielengte  $L$  werd bij dit onderzoek de lengte bij de eerste opname van 1988 genomen. Indien de lengte van de bankdoorsnede evenwel op relevante wijze verandert dient bij iedere waardebepaling de lengte  $L$  bij opname gemeten te worden.<sup>37</sup>

37. Als referentielengte zou men de gemiddelde lengte van de doorsnede ter hoogte van het grensvlak kunnen nemen, berekend over de waarnemingsperiode, of in het geval van belangrijke veranderingen bij elke opname de bekomen lengte invoeren. Daar de seriële profielen voor 1989-95 (fig 19, fig. 20 en fig.21) aangeven dat in 1985-95 op de Vlaamse Banken de profiellengten op het grensvlak nauwelijks veranderden, werd de gemiddelde lengte van het banktop- of geulbodemprofiel vervangen door de lengte van de basis van de doorsnede op het ogenblik van de eerste opname van 1988.

Elke verandering van de gemiddelde hoogte van het profiel komt overeen met een verandering van het gemiddeld peil van de zeebodem langs die transversale. Het peil van het grensvlak verandert immers niet, ten minste voor zover het referentiepeil  $H$  en dus de zeespiegel niet op relevante wijze veranderen. Van Cauwenberghe<sup>38</sup> stelt voorop dat langs de Belgische kust het laagwaterpeil in de periode 1930-2000 met gemiddeld 1 mm/jaar zou gestegen zijn. Over de gehele periode 1987-94 zou dit dus hoogstens 1 cm weerslag kunnen gehad hebben.

Bij de evaluatie van de geomorfologische risico's werden voor elk grensvlak en voor elke referentielijn de hoogteveranderingstrends  $T/dh$  (in cm/jaar) voor het beschouwde bankgedeelte bepaald door lineaire regressie-analyse<sup>39</sup> van de tijdreeksen voor  $h = S/L$ . In het geval van de geulbodem is  $w$  de gemiddelde hoogte van het transversaal profiel gelegen onder het grensvlak op het peil van de basisconcauiteit van de banken. Daarbij is  $w = S'/L'$  met  $S' =$  de oppervlakte van het geulbodemprofiel onder dat grensvlak en  $L' =$  de lengte van de snijlijn tussen profiel en grensvlak.

Figuur 26 toont enkele tijdreeksen voor de gemiddelde hoogte  $h$  van de banktop en  $w$  van de geulbodem langsheen diverse vaste lijnen voor een aantal banken en geulen. Die tijdreeksen vertonen een vrij grote variabiliteit. Variabiliteit en outliers in de tijdreeksen ontstaan door het effect van bewegende megaribbels en zandgolven, door heen- en weer migrerende sedimenten, door storm-effecten, etc. Invloed van koerswijzingen werd door de controleprocedure ondervangen.

Figuur 27 toont een cartogram met de trend voor gemiddelde hoogteverandering ( $T/dh$  in cm/jaar) langs de referentietransversalen op de banktoppen in de periode 1987-94. Bijna overal, behalve op de top van de Middelkerkebank, vertonen de banktoppen een globale tendens voor verlaging, evenwel met ongelijke

38. VAN CAUWENBERGHE, C. (2000). *Relative Sea Level Rise along the Belgian Coast : Analyses and Conclusions with Respect to the High Water, the Mean Sea and the Low Water Level*. In : *Hydrographic Journal*, 97, 7-11, 5 tab., 7 fig.

39. Lineaire regressie-analyses werden uitgevoerd met programma BANKSTAT ontwikkeld in het Laboratorium voor Fysische Aardrijkskunde (RUG) of met QUATTRO / Advanced mathematics. In BANKSTAT wordt de vergelijking van de regressielijn door een verzameling van  $n$  punten  $(x_n, y_n)$  in een rechthoekig assenstelsel ook als volgt bepaald (BEYER, *Mathemat. Tables*, 1984, p. 195) :

$$y = Ax + B$$

$$\text{met } A = \left\{ \sum_1^n (x_n + y_n) - \left( \sum_1^n x_n \right) \left( \sum_1^n y_n / n \right) \right\} / \left\{ \left( \sum_1^n x_n - \left( \sum_1^n x_n / n \right)^{es} \right) \right\}$$

$$\text{en } B = \left\{ \sum_1^n y_n / n - \left( A * \sum_1^n y_n / n \right) \right\}$$

In het geval men beschikt over twee punten  $P_1 (x_1, y_1)$  en  $P_2 (x_2, y_2)$  gelegen op de regressielijn wordt

$$A = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) \text{ en } B = y_1 - A * x_1$$

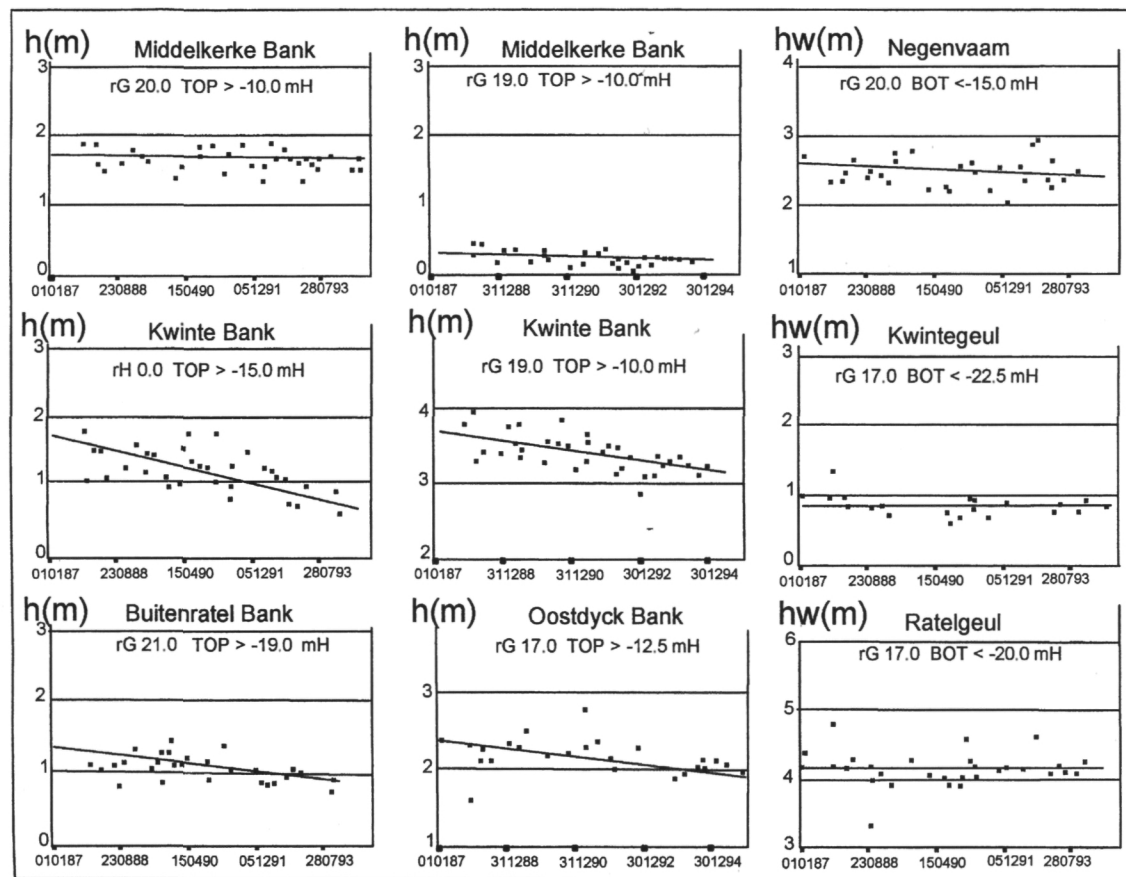


Fig. 26. — Vlaamse Banken. Periode 1987-95. Voorbeelden van tijdreeksen voor de gemiddelde hoogte van banktop (TOP)- of geulbodendoorsneden (BOT).

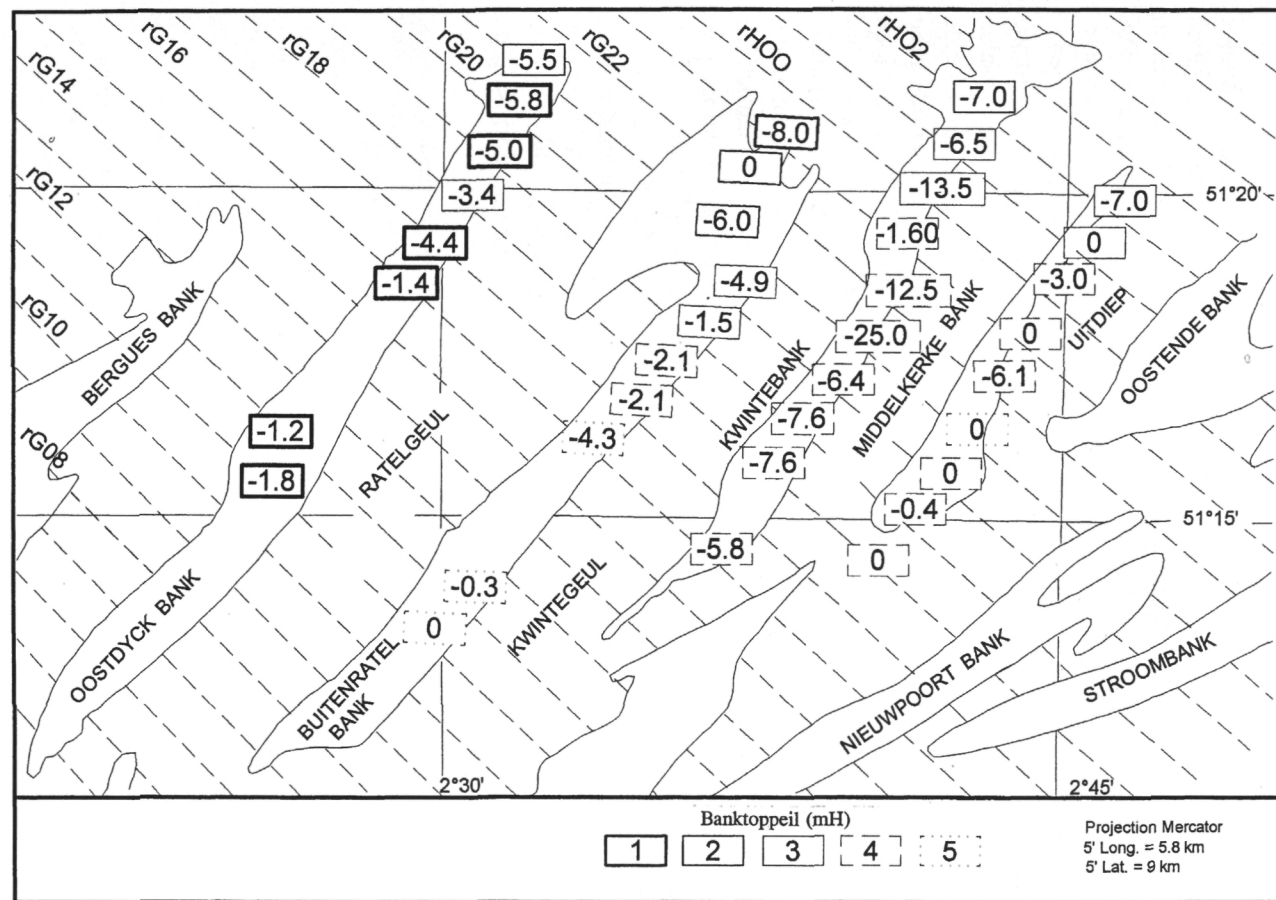


Fig. 27. — Vlaamse Banken. Banktoppen. Periode 1987-95. Trend van de verandering van de gemiddelde hoogte van banktopdoorsneden (cm/jaar).

intensiteit. Dit suggereert een netto regionaal sedimenttransport met een erosief effect. Dit beeld wijkt wel af van de indicaties van de stabiliteitskaart voor het peil -4 mH in de periode 1978-98. Het verschil kan verband houden met de meer morfografisch geconditioneerde werkwijze bij trendbepaling.

Op sommige topzones bereikt de verlagingstrend voor de gemiddelde hoogte gedurende de periode 1987-95 een waarde van 5 à 10 cm/jaar. Dit is het geval langs de noordkant van de Oostdyck, op de lage noordrand van de Buitenratel en ook langs de noordrand van de Kwintebank en van de Middelkerkebank. Die zeewaartse randligging suggereert invloed van de expositie t.o.v. deining en stormen en verklaart ook ten dele de variabiliteit in de tijdsreeksen op die randen.

De sterkste verlagingstrend in de periode 1987-95 vindt men op de topzone van het noordelijk-centraal deel van de Kwintebank. Langs de transversalen rG 21.0, rG 22.0 en rH 00.0 bedroeg de verlagingstrend van de gemiddelde hoogte in de periode 1987-94 er 25 cm/jaar. Alhoewel er voor die periode geen preciese gegevens over de lokalisatie van de zandwinningsgebieden bestaan is het toch voldoende gekend dat het noordelijk-centraal-deel van de Kwintebank een belangrijk, zoniet het belangrijkste zandwinningsgebied op de Vlaamse Banken vormt. In de periode 1983-1992 werd op de Oostdyck en op de Buitenratel samen 100.000 m<sup>3</sup>/jaar gewonnen.<sup>40</sup> Op de Kwintebank daarentegen bedroeg het ontgonnen zandvolume in 1987 400.000 m<sup>3</sup>/jaar. In 1992 was dit opgelopen tot 1.000.000 m<sup>3</sup>/jaar.<sup>40, 57</sup> Voor de hele periode 1987-94 kan men het totale zandvolume gewonnen op de topzone van de Kwintebank op 4.5 à 5.0 miljoen m<sup>3</sup> ramen. Het exploitatiedebiet overtrof er de natuurlijke aanvoer van zand naar de topzone door het maintenance-mechanisme. Het maintenance-model<sup>3, 7, 29</sup> stelt voorop dat zandaanvoer naar de top gebeurt door megaribbels die langs de flanken vanuit de geulen opklimmen<sup>41, 42, 43</sup> en dat er gedurende de stormseizoen

40. DE MOOR, G. (1993). *Morfologische en sedimentologische impact van de zandontginningen*. In L. RZONZEF (Ed.): *Effekten op het marien leefmilieu van de zand- en grindwinnings op het Belgisch kontinentaal plat*. In: *Annalen der Mijnen België*, 1993(2), pp. 16-24, 5 fig.

41. Dit opklimmen (3, 7) kan toegeschreven worden aan afbuiging van de megaribbels die zich volgens de as van de geulbodems verplaatsen. Door vertraging ingevolge wrijving loopt het ribbelgedeelte dat zich dicht bij de bankvoet bevindt achter zodat in die randzone ribbels meer en meer in de richting van de flank afbuigen tot ze die uiteindelijk oplopen. Het Corioliseffect dat inwerkt op de waterbeweging die de geulas volgt werkt deze afbuiging nog in de hand door de afbuiging naar rechts die ze aan de stroming geeft. De opeenvolging van eb- en vloedpiekstromen in de geulen maakt dat het Corioliseffect zich afwisselend in tegengestelde richting op tegenoverliggende bankflanken laat voelen. Hierdoor gaan de megaribbels aan de ene geulkant de bankflank zee- waarts opklimmen bij vloed en aan de andere landwaarts opklimmen bij eb. Van dit oogpunt uit zou zandaanvoer vanuit de zuidelijke Negenvaam eerder de dynamische stabiliteit op de Middelkerkebank ondersteunen dan zandaanvoer naar de topzone van de Kwintebank verzorgen. De opeenvolging van stormafslag op de topzone gepaard gaande met zandoverdracht naar de geulen en gevolgd door nieuwe zandaanvoer naar de toppen laat vermoeden dat er niet alleen een externe zandaanvoer bestaat langs de geulen maar dat er ook zand van de banken zelf gerecycleerd wordt in het maintenance mechanisme. Die stormafslag op de topzones wordt morfologisch geargumen-

aftopping gebeurt. Daardoor komt zand in de geulen terecht van waaruit het dan gerecycleerd wordt.

Figuur 28 toont een cartogram met de hoogteveranderingstrends voor de geulbodems. Gedurende de periode 1987-1994 trad bijna nergens in de geulen verlaging of verhoging op. Gezien de variabiliteit in de tijdreeksen (zie fig. 26) gaat het waarschijnlijk om een dynamische stabiliteit gebonden aan de migratie van megaribbels. Op sommige plaatsen in de geulen komt grint<sup>44</sup> voor of vindt

teerd door het vlakke karakter van de hoge centrale topzone van de Kwintebank (fig. 2) dat aan de veegzone van de golven kan toegeschreven worden, terwijl het transportpadenpatroon nieuwe zandaanvoer naar de toppen ondersteunt. De detailstudie in de proefzone op de zuidelijke Middelkerkebank laat vermoeden dat er op de topzones ook herwerking gebeurt waarbij erosie lokaal dieper in het zandlichaam doordringt. Dit mechanisme laat overigens toe sommige longitudinale voren te verklaren die men soms plaatselijk op de topzones aantreft.

42. **Voor de mobiliteit van zandgolven op de Vlaamse Banken, zie o.a. :** DE MOOR, G. (1985). op. cit. (7). DE MOOR, G., & LANCKNEUS, J. (1990). *Stabilité et apports de sédiments sur les Bancs de Flandre*. In : *Annales Société Géologique du Nord*, CIX, pp. 129-139, 13 fig. LANCKNEUS, J. & DE MOOR, G. (1994). *Evolution of Large Dunes*. In : G. DE MOOR (Ed.) : *Relationship between Sea Floor Currents and Sediment Mobility in the Southern North Sea*. (onuitgegeven verslag), Brussels, EC, DG XII, Project MAST I, RESECUSED, Final Report, pp. 9-1/9-22, 17 fig. LANCKNEUS, J. & DE MOOR, G. (1994). *Morfodynamiek van de zandgolven*. In : G. DE MOOR & J. LANCKNEUS (Ed.) : *Eindverslag Project Westbank II*, deel I, op cit. (41), pp. 113-127, fig. 5.1-5.8.

43. **Voor kartering van transportpaden van bodemlading op de Vlaamse Banken op basis van morfologische kenmerken van zandgolven en megaribbels, zie o.a. :** DE MOOR, G. (1985). op. cit. (7). LANCKNEUS, J., DE MOOR, G., VANDEVELDE, L., DE WINNE, E., SANDOZ ALMAZO, I. & GARRIDO MARTIN, T. (1993). *Morphodynamics and Sedimentdynamics in the Southern Bight*. In : J. NIHOUL (Ed.) : *Progress in Belgian Oceanographic Research*. Brussels, Royal Academy of Belgium, National Committee of Oceanology, pp. 55-73, 9 fig. DE MOOR, G. & LANCKNEUS, J., (1994). *Analyse van zandtransportpaden*. In : G. DE MOOR & J. LANCKNEUS (Ed.) : *Eindverslag Project Westbank II*, deel I, op. cit. (57), pp. 78-112, fig. 4.1-4.26. DE MOOR, G. & LANCKNEUS, J., (1994). *Analyse van zandtransportpaden*. In : G. DE MOOR & J. LANCKNEUS (Ed.) : *Eindverslag Project Gootebank*, deel I, op. cit. (57), pp. 78-109, fig. 5.1-5.23. HEYSE, I. & VAN WEZENBEECK, V. (1996). *Assessment of Residual Transport Paths by Bedform Analysis on the Middelkerke Bank*. In : I. HEYSE & G. DE MOOR (Ed.) : *Sediment Transport and Bedform Mobility in a Sandy Shelf Environment*. (onuitgegeven verslag). Brussels, EC, DG XII, Project MAST II, STARFISH, Final Report, pp.10.1-10.22

**Men karteert transportpaden ook op basis van korrelgrootteparameterveranderingspatronen ; zie o.a. :** LANCKNEUS, L., DE MOOR, G., DE SCHAEPMEESTER, G., MEYUS, I. & SPIERS, V. (1992). *Residual Sediment Transport Directions on a Tidal Sandbank. Comparison of the Mc Laren Model with Bedform Analysis*. In : *Bevas-Sobeg*, pp. 425-446, 10 fig., 4 tab. LANCKNEUS, J., DE MOOR, G., VAN LANCKER, V. & DE SCHAEPMEESTER G., (1993). *The Use of the Mc Laren Model for the Determination of Residual Transport Directions on the Gootebank, Southern North Sea*. In : *Progress in Belgian Oceanographic Research*. Brussels, Royal Academy of Belgium, National Committee of Oceanology, 7, pp.75-94, 9 fig. GAO, S., COLLINS, M.B., LANCKNEUS, J., DE MOOR, G. & VAN LANCKER, V. (1994). *Grain Size Trends Associated with Net Sediment Transport Patterns : an Example from the Belgian Continental Shelf*. In : *Marine Geology*, 121, pp. 171-185.

44. TYTGAT, J. (1989). *Dynamics of Gravel in the Superficial Sediments of the Flemish Banks, Southern North Sea*. In J.-P. HENRIET, G. DE MOOR & M. DE BATIST (Ed.) : *Tertiary and Quaternary Geology of the Southern Bight*. Brussels, Ministry Economic Affairs, pp. 217-228, 7 fig.

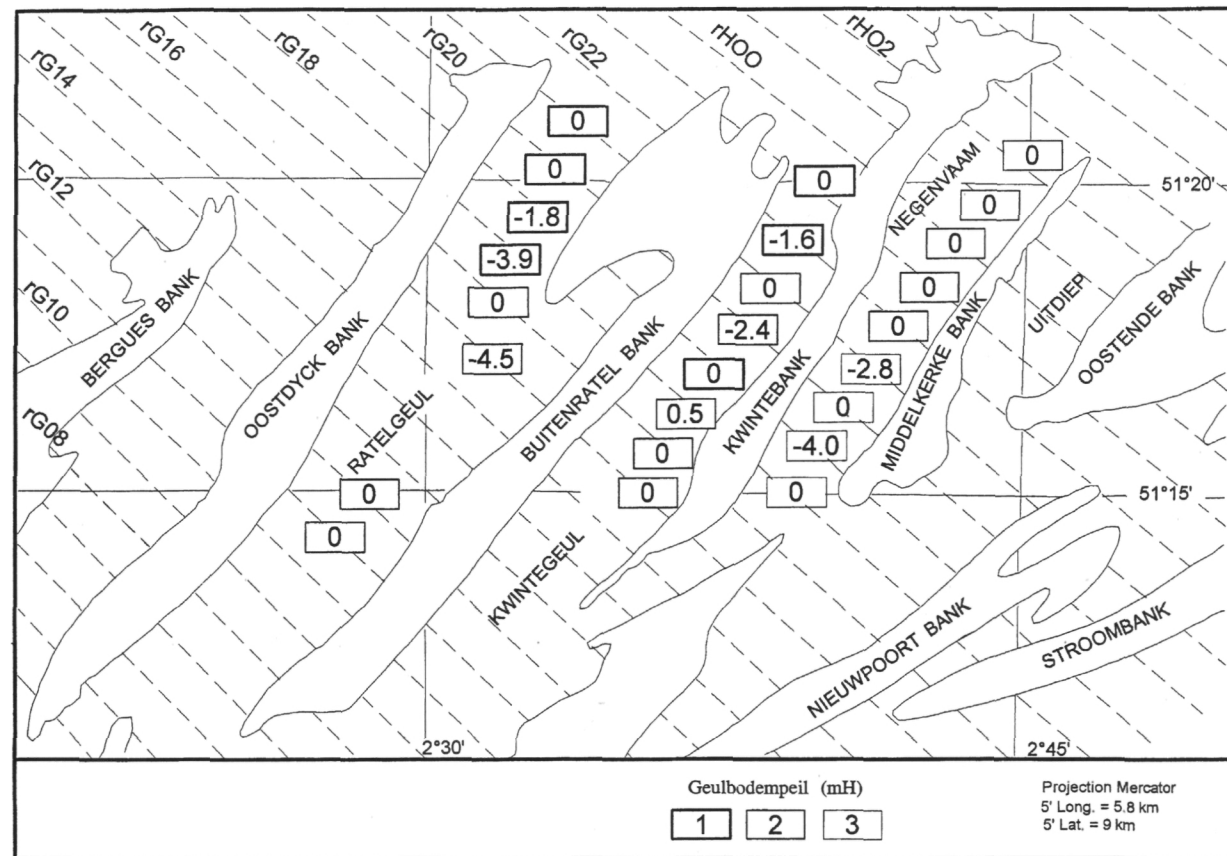


Fig. 28. — Vlaamse Banken. Geulbodems. Periode 1987-95. Trend van de verandering van de gemiddelde hoogte van geulbodemdoorsneden (cm/jaar).



men op geringe diepte een stugge eocene klei <sup>11</sup> die ook tot stabiliteit van de geulbodem kunnen bijgedragen hebben. In het centrale deel van de Ratelgeul en in het zuidelijke deel van de Negenvaam manifesteerde zich wel een zwakke tendens tot verlaging van de gemiddelde hoogte, zonder evenwel 4 à 5 cm/jaar te overschrijden.

Die trend geeft een indicatie voor de verandering van de gemiddelde hoogte langs de vaste lijn maar laat niet toe variaties van  $T/dh$  langs die lijn te onderscheiden. Langs vaste lijn rG21.0 op de Kwintebank meet men wel een gevoelige verlagingstendens voor de gemiddelde hoogte maar de diepe depressie op de westzijde komt daarbij niet tot uiting. Aanvullend beroep op visuele vergelijkingsmethodes toont die depressie wel duidelijk. Om beter te kwantificeren wat er precies aan de hand is kan men daarna wel trends bepalen op beperkte gedeelten van de bankdoorsnede.

Men kan de predictieve betekenis van de trends evalueren door de bathymetrische opnames voor te zetten. Een negatief resultaat betekent echter geen uitsluitel omdat er geen zekerheid bestaat over de procescontinuïteit.

De geldigheid van sommige berekeningselementen kan wel geëvalueerd worden. Bijlagen 2 en 3 laten toe de referentiewaarden voor de profieloppervlakten gebruikt in de periode 1987-95 te vergelijken met de eenheidsvolumes voor de overeenkomstige profielen opgemeten in juni 1998. Daarbij werd gebruik gemaakt van echogrammen en digitale dieptegegevens opgenomen langs dezelfde vaste lijnen in opdracht van de Geologische Dienst van België. Eenheidsvolumes in  $m^3/m$  komen immers overeen met profieloppervlakten in  $m^2$ .

### 5.3. – Hoogteverschilkaarten

Hoogteverschilkaarten worden afgeleid van lodingskaarten of van databanken met digitale diepte- en plaatsgegevens door op reële of geïnterpoleerde waarnemingspunten het diepteverschil tussen twee opeenvolgende diepte-opnames te bepalen en te karteren. Deze methode vergt een grote lodingsdichtheid. Ze leent zich tot driedimensionele kuberingen die een betere benadering van de volumeveranderingen bieden dan die bekomen door extrapolaties van eenheidsvolumometrische evaluaties langs transversalen zoals voorheen noodgedwongen gebruikt voor het inschatten van de residuele sedimentdynamiek op de Vlaamse Banken.<sup>3, 7, 29</sup>

De implementatie van de *multibeam* echoloding met grote resolutie, van de geografische informatiesystemen en de digitale terreinmodellen en van meer performante plaatsbepaling (DGPS) werken het gebruik van hoogteverschilkaarten in de hand en boden bij het einde van de periode 1985-95 perspectieven om het geomorfologisch risico-onderzoek op zee verder te verbeteren.

### 5.3.1. – Hoogteverschilkartering door single beam bathymetrie met de BEASAC hovercraft

In de periode 1991-1995 werden hoogteverschilkaarten opgemaakt voor een kleine proefzone van 1.5 Km<sup>2</sup> gelegen op de zuidkant van de Middelkerkebank langs de Deccalijn rG 21.5, gecentreerd rond 51°17' N en 2°42'23" E (fig. 29). Daarvoor werden lodingskaarten opgenomen met ultra-snelle *single beam* bathymetrie met de BEASAC *hovercraft*<sup>45</sup> langsheen transversale vaarlijnen op een tussenafstand van 25 m.<sup>46</sup> Een van die hoogteverschilkaarten overspant een periode van 4 jaar, de andere een van 3 maand, zodat effecten van korte termijn dynamiek en van lange-termijn dynamiek kunnen onderscheiden worden. Tussen 2 september 1991 en 13 september 1995 verhoogden de toppen van de zandgolven op de bank tot meer dan 2 m. Tegelijk werd verdieping van de golfdalen waargenomen. Die bedroeg zelden meer dan 1 m<sup>48</sup>. Dit verschil suggereert dat de zandgolven niet alleen door interne recyclage verhoogden. Tussen 2 september 1991 en 27 november 1991 bleef de hoogte van de zandgolven nagenoeg constant. Alleen langs de westelijke topconvexiteit waren zandgolven soms meer dan 0.5 m hoger geworden.

Ook op de bankflank werden hoogteverschilmetingen uitgevoerd. Tussen september en november 1991 heeft zich langs de westflank van de Middelkerkebank op een diepte tussen -10 en -13 m H een sliet bulten van minder dan 0.5 m hoogte ontwikkeld (Fig. 29). Mogelijks ging het om megaribbels. Toch toont de onderliggende isohypsenkaart geen enkel effect van die verhogingen evenmin als indicaties voor asymmetrie alhoewel het gelijkhoogteverschil slechts 0.5 m bedroeg. Vier jaar later, was de algemene hypsometrie op de bankflank niet gewijzigd. Wel werden daar toen meer, grotere en ook hogere hompels aangetroffen. Het isohypsenverloop op de kaart geeft die terug niet aan. De hoogtetoename van nauwelijks 0.5 m kwam erg klein uit gezien de veel langere tussentijd. De stabiliteit in positie, structuur en morfologie van deze bulten stelt de preciese rol van de korrelverplaatsing en die van megaribbelmigratie in de globale verplaatsing van de bodemlading in vraag.

Hoogteverschilkartering met Beasac opnames werd ook gebruikt om de mobiliteit van zandgolven<sup>42</sup> te bestuderen (fig. 30). In de 4 jaar tussen 1991 en 1995 waren sommige zandgolven op de noordwestkant van de proefzone over 5 tot 10 m naar het oosten verschoven, symmetrische zandgolven op de banktop waren nagenoeg ter plaatse gebleven en zandgolven op de zuidoostkant waren er

45. Voor BEASAC (Belfotop Eurosense Acoustic Sounding Air Cushion), zie o.a. DE PUTTER, B., DE WOLF, P., VAN SIELEGHEM, J. & CLAEYS, F. (1992). *Latest Developments in Hovercraft Bathymetry*. Hydrographic Society, Hydro 92 Copenhagen, Proceedings.

46. HOUTHUYS, R. (1996). *Chronosequential Depth Measurements in Very Shallow Waters by Hovercraft: Recording and Processing*. In: I. HEYSE & G. DE MOOR (Ed.): *Sediment transport and bedform mobility in a sandy shelf environment*. Brussels, EC, DG XII, Final Report STARFISH Project, pp. 5-1/5-25, 15 fig. (meerspeciaal p. 5.14, 5.17 en 5.19).

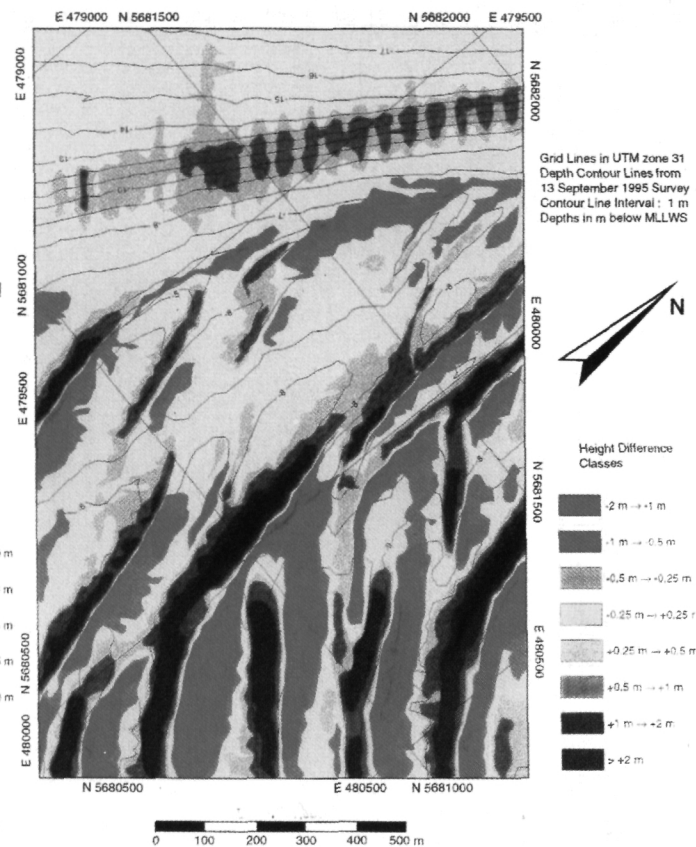
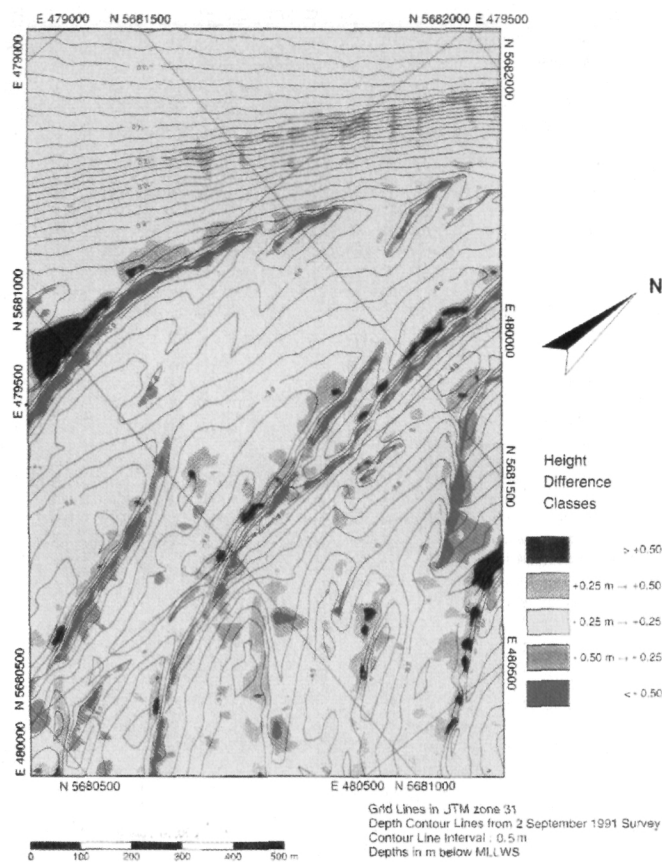


Fig. 29. — Zuidkant Middelkerkeband. Testzone langs rG21.5. Hoogteverschillen door kleuren op basis van hoogtelijnenkaart.  
(Beasac single beam bathymetrie : opname en verwerking EUROSENSE).

over 10 tot 20 m naar het westen gemigreerd <sup>48</sup> (p. 5.14). Ook stormeffecten en invloed van tijstanden werden met hoogteverschilkaarten onderzocht.<sup>47, 48</sup>

### 5.3.2. – Hoogteverschilkartering met multi beam

In de periode 1994-95 werden bathymetrische *multibeam* opnames uitgevoerd op twee kleine proefzones op de Middelkerkebank, elk ongeveer 2.5 km<sup>2</sup> groot. De eerste is gelegen langs rH02.00 in een gebied met kamlijndiepten van 7 tot 8 m, de tweede meer noordwaarts langs rH04.0, waar de kamlijndiepte rond de 15 m bedraagt. Opnames gebeurden met het SIMRAD EM 950 hybrid *multibeam* echolood deels aan boord van de meetflat WYTFLIET (in april en augustus 1994) en deels aan boord van het hydrografisch schip TER STREEP (tussen oktober 1994 en oktober 1995).<sup>49</sup> Figuur 31 toont een uittreksel uit een van de lodingskaarten bekomen na traceren van de hoogtelijnen.

Vergelijking van de tracé's van representatieve hoogtelijnen toont dat zich in de minder diepe zone langs rH02.00 op de Middelkerkebank oscillaties van zandgolven hadden voorgedaan. Tussen oktober 1994 en maart 1995 migreerden ze transversaal over een twintigtal meter oostwaarts en tussen maart en oktober 1995 over 20 m westwaarts, wat gepaard ging met enige longitudinale verschuiving.<sup>49</sup> In de diepere zone langs rH04.00 greep nagenoeg geen transversale verplaatsing van zandgolven plaats maar alleen een zwakke longitudinale verschuiving. Deze resultaten bevestigen de analyses door profielsuperpositie en door seriële profielen (fig. 19, fig. 20, fig. 21) en die door opvolging van de migratie van zandgolven met *side scan sonar*.

Figuur 32 toont een hoogteverschilkaart afgeleid van een gedetailleerde *multibeam* opname op de noordzijde van de Middelkerke Bank in 1994. Het kaartbeeld suggereert migratie van zandgolven in noordwestelijke richting.

### 5.4. – Inbreng van sonogrammen en satellietbeelden

De sonogrammen bekomen met *side scan sonar* hebben een belangrijke bijdrage geleverd voor de studie van de evolutie en de mobiliteit van zandgolven en megaribbels. Ze tonen immers ineens een min of meer groot deel van de zeebodem alhoewel een opname slechts weinig tijd vergt. Figuur 33 toont de ligging

47. HOUTHUYS, R. (1994). *Impact of a Storm Period on the Morphology of the Middelkerke Bank*. In : G. DE MOOR (Ed.) : *Relationship between Sea Floor Currents and Sediment Mobility in the Southern North Sea*. Brussels, EC, DG XII, Project MAST I, RESECUSED, Final Report, pp. 4-1/4-29, 16 fig (meer speciaal p. 4.2 / 4.3)

48. HOUTHUYS, R., TRENTESAU, A. & DE WOLF, P. (1994). *Storm Influences on a Tidal Sandbank's Surface, Middelkerke Bank, Southern North Sea*. In : *Marine Geology*, 121, pp. 23-41.

49. VAN CAUWENBERGHE, C. (1996). *Chronosequential Multi Beam Echosounding by Vessel : Recording and Processing*. In I. Heyse & G. De Moor (Ed) : *Sediment Transport and Bedform Mobility in a sandy Shelf Environment*. (Onuitgegeven verslag). Brussels, EC, DG XII, Project MAST 2, STARFISH, Final Report, pp. 5-1/ 4-18, 13 annex. (meer speciaal p. 4.1 en 4.4 - 4.5).

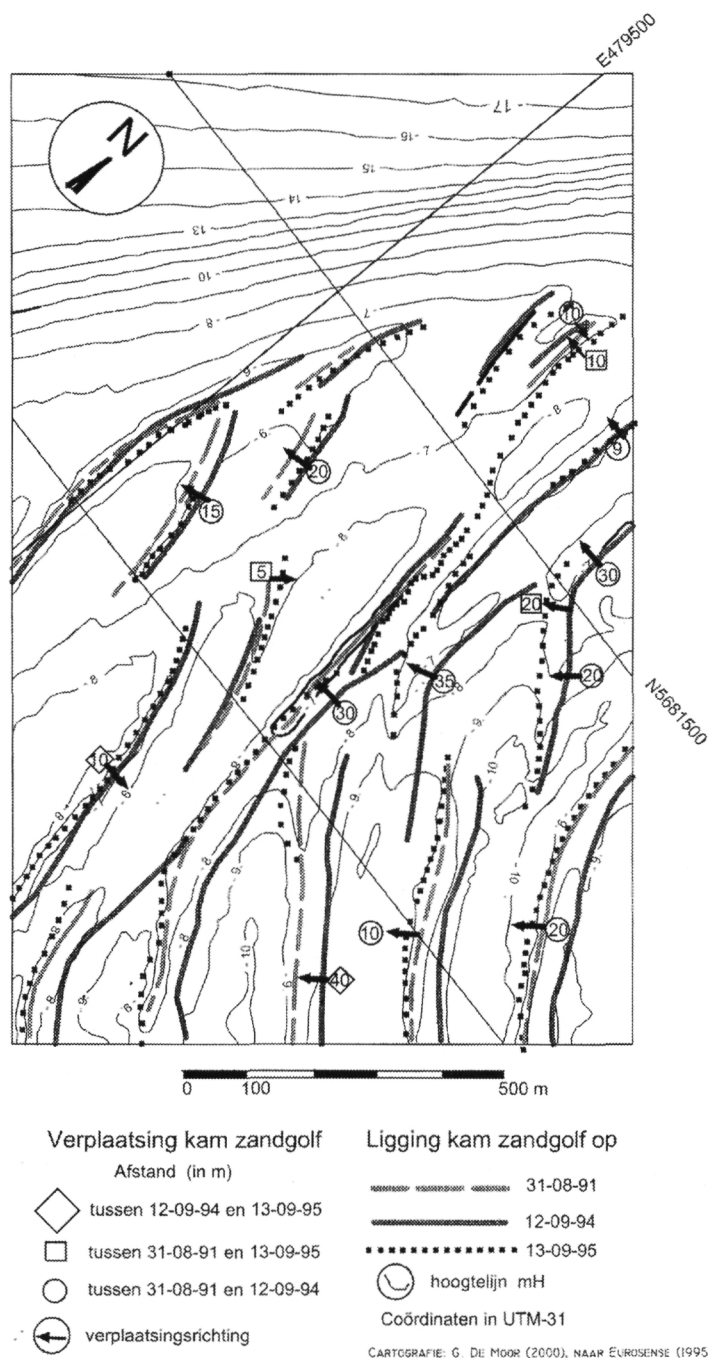
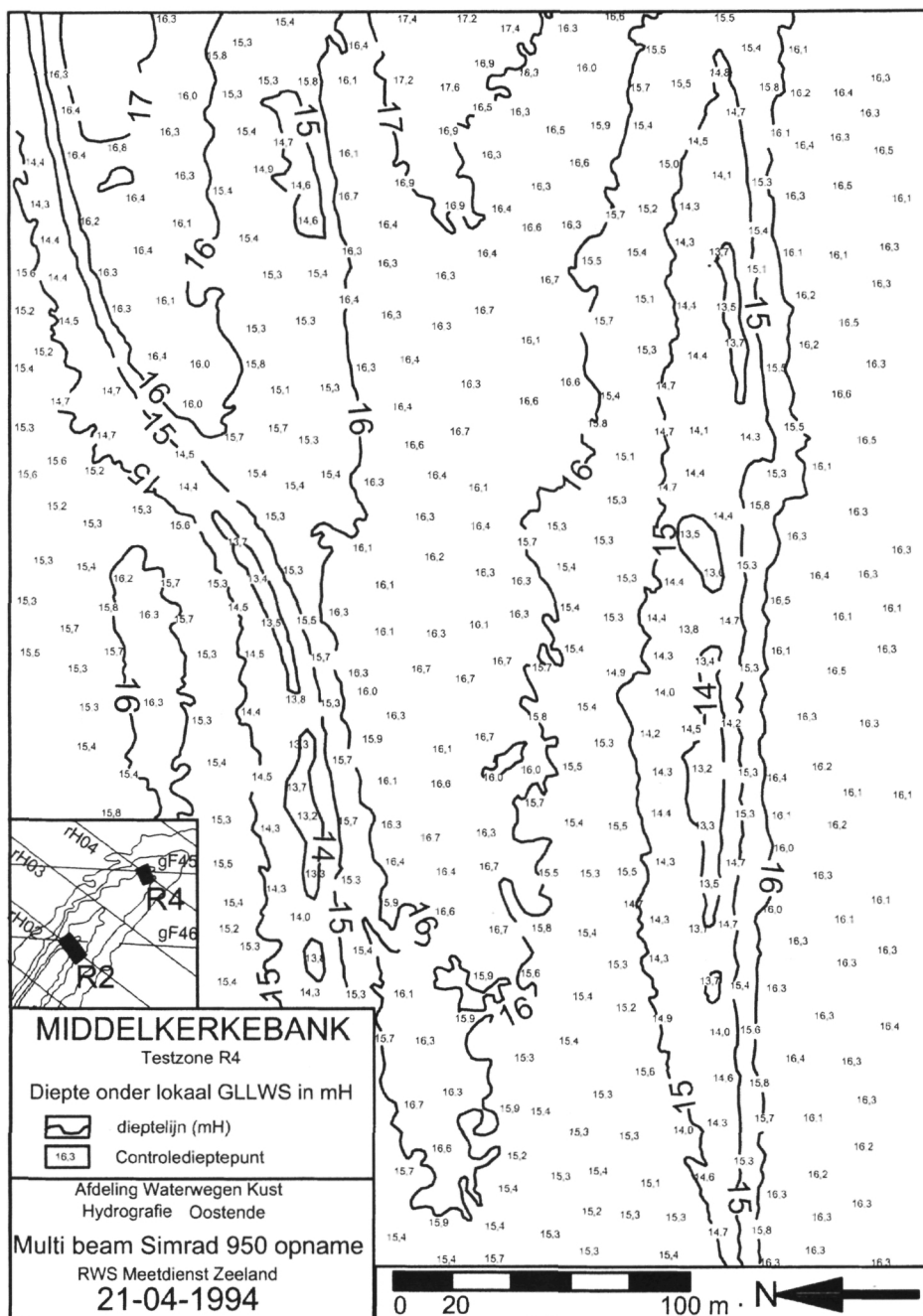


Fig. 30. — Middelkerkebank Testzone R4. Verschuiving van de kamlijnen van zandgolven tussen 1991 en 1995, afgeleid van single beam opnames op 02.09.91, 31.08.94 en 13.09.95 (Eurosense). De kaart illustreert de geringe heen- en weer beweging van de zandgolven.



Cartografie G. De Moor (2000), naar data C. Van Cauwenberghe (1994)

Fig. 31. — Middelkerkebank. Testzone R4. Multi beam bathymetrie. Lodingskaart en afgeleide isohypsen (opname RWS Meetdienst, 1994). Rond ieder controlepunt is er een cirkel van 16 m diameter waarbinnen geen data voorgesteld zijn. De diepteliijnen zijn getekend op basis van een 2x2 m maas waarvoor de gemiddelde diepte bepaald werd.

en de asymmetrie van zandgolven op de noordzijde van de Middelkerkebank afgeleid van sonogrammen opgenomen op 14 november 1990 en op 28 februari 1991. Vergelijking illustreert de geringe verandering in de winterperiode 1990/91.

In de periode 1980-95 werden sonogrammen gebruikt voor de kartering van transportbanen en transportrichtingen van de bodemlading op basis van de relatie tussen progradatierichting en vormasymmetrie bij lineaire oppervlaktestructuren.<sup>43</sup> Figuur 34 toont transportpaden op de Kwintebank op 30 november 1982 afgeleid van de strekking en de asymmetrie van zandgolven en megaribbels merkbaar op de sonogrammen. Hierbij wordt alleen de dominerende richting van de steile zijde binnen afzonderlijke megaribbelvelden weergegeven. In november 1982 verliepen de zandgolven op de topzone van de Kwintebank parallel aan de bankas met een steile progradatiezijde gericht naar de Negenvaam. Dit suggereert dat de zandaanvoer vanuit de Kwintegeul onder invloed van vloedpiekstroom er belangrijker was dan de aanvoer door ebstroom vanuit de Negenvaam. Het verschil in strekking tussen de hogere zandgolven en de lagere megaribbels is mogelijks gebonden aan verschil in korrelgrootte waardoor het respectievelijke transport door anders gerichte stromingen gebeurde. De bodemsedimenten in de Negenvaam zijn fijner dan in de Kwinte en op de Kwintebank.<sup>8, 9, 50</sup> Het feit dat ze zuidwaarts in de Negenvaam verder verfijnen suggereert dat de ebpiekstroom toch een belangrijke invloed heeft op het transport in die geul.

Figuur 35 toont de transportpaden voor bodemlading op de Middelkerkebank, afgeleid van de strekking en de asymmetrie van megaribbels op sonogrammen opgenomen in Mei 1990. Megaribbels komende uit de Negenvaam klimmen er de steile westzijde van de bank op onder invloed van de vloedpiekstroom terwijl op de oostzijde de megaribbels vanuit het Uitdiep door ebpiekstroom de oostflank opgestuwd worden (fig. 36).

De resultaten van sonograminterpretaties hangen deels af van de interpretatie-technieken van de akoestische beelden. Alhoewel men de hoogte van bodemvormen niet direct kan aflezen, laten speciale meettechnieken (analoog aan de hoogtemetingstechnieken op luchtfoto's) toch toe de hoogte van zand-

50. Voor korrelgroottekartering op de Vlaamse Banken, zie o.a. : LANCKNEUS, J. (1989). *op. cit.* (9). DE MOOR, G. & LANCKNEUS, J. (1991). *op. cit.* (8). DE MOOR, G. & LANCKNEUS, J. (1994). *Analyse van oppervlakkige sedimenten*. In : G. DE MOOR & J. LANCKNEUS (Ed.) : *Eindverslag project Westbank II*, deel I, *op. cit.* (57), pp. 128-160, fig.1.6-1.26. (meer speciaal figuur 6.17 en 6.19). De bijlagen II tot V omvatten de resultaten van de korrelgrootte-analyses van de bodemstalen op de Kwintebank en omgeving. DE MOOR, G. & LANCKNEUS, J. (1994). *Analyse van oppervlakkige sedimenten*. In : G. DE MOOR & J. LANCKNEUS (Ed.) : *Eindverslag project Gootebank*, deel I, *op. cit.* (57), pp.120-152, fig. 7.1 tot 7.22. De bijlagen II tot V omvatten de resultaten van de korrelgrootte-analyses van bodemstalen op de Gootebank en omgeving. DE MOOR, G., LANCKNEUS, J. e. a. (1994). *Map of the Middelkerkebank, Southern North Sea*. Project MAST 1, RESECUSED, Gent, Laboratorium Fysische Geografie (RUG), 1 krt. De kaart geeft een beeld van de korrelgrootte van de oppervlakkige bodemsedimenten op de Middelkerkebank.



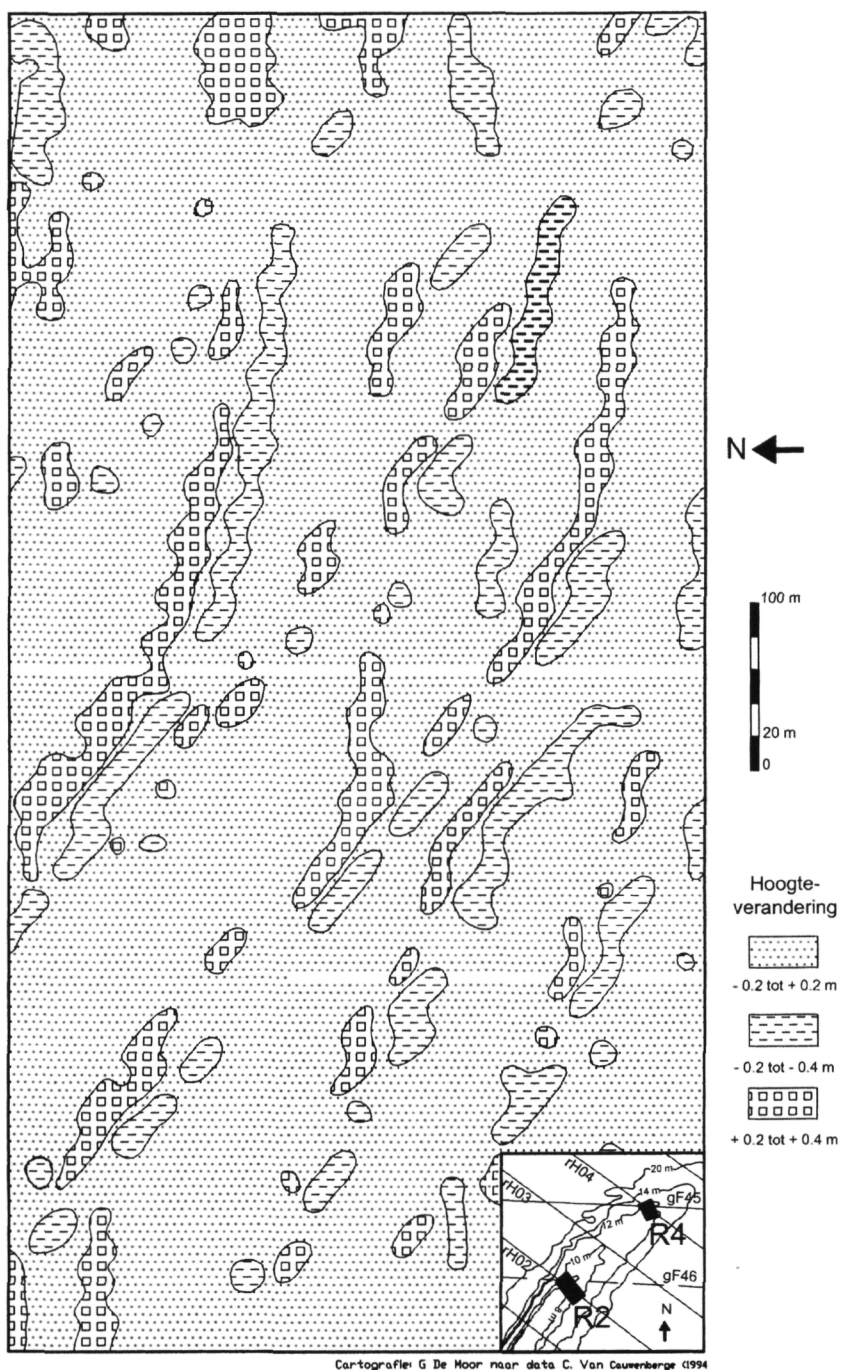


Fig. 32. — Middelkerkebank Noordzijde. Testzone R4. Multi beam bathymetrische karting en afgeleide hoogteverschilkaart.



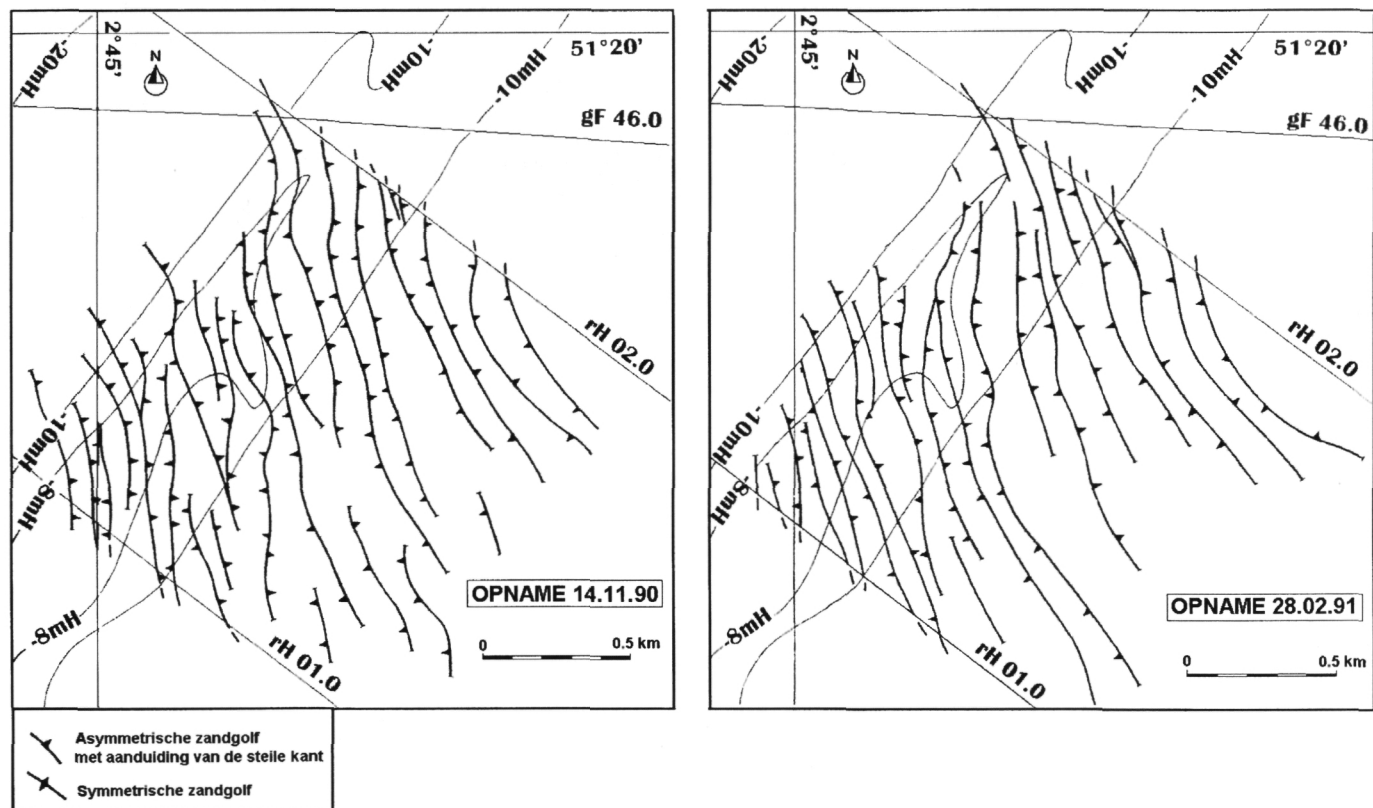


Fig. 33. — Noordzijde Middelkerkebank (tussen rh 02.0 en rh 01.0). De verwerkte sonogrammen tonen de ligging en de asymmetrie van de kamlijnen van de zandgolven. Vergelijking illustreert de geringe residuele verandering in de winterperiode tussen 14.11.90 en 28.02.91 (Sequentiële side scan opnames : G. De Moor & J. Lanckneus).

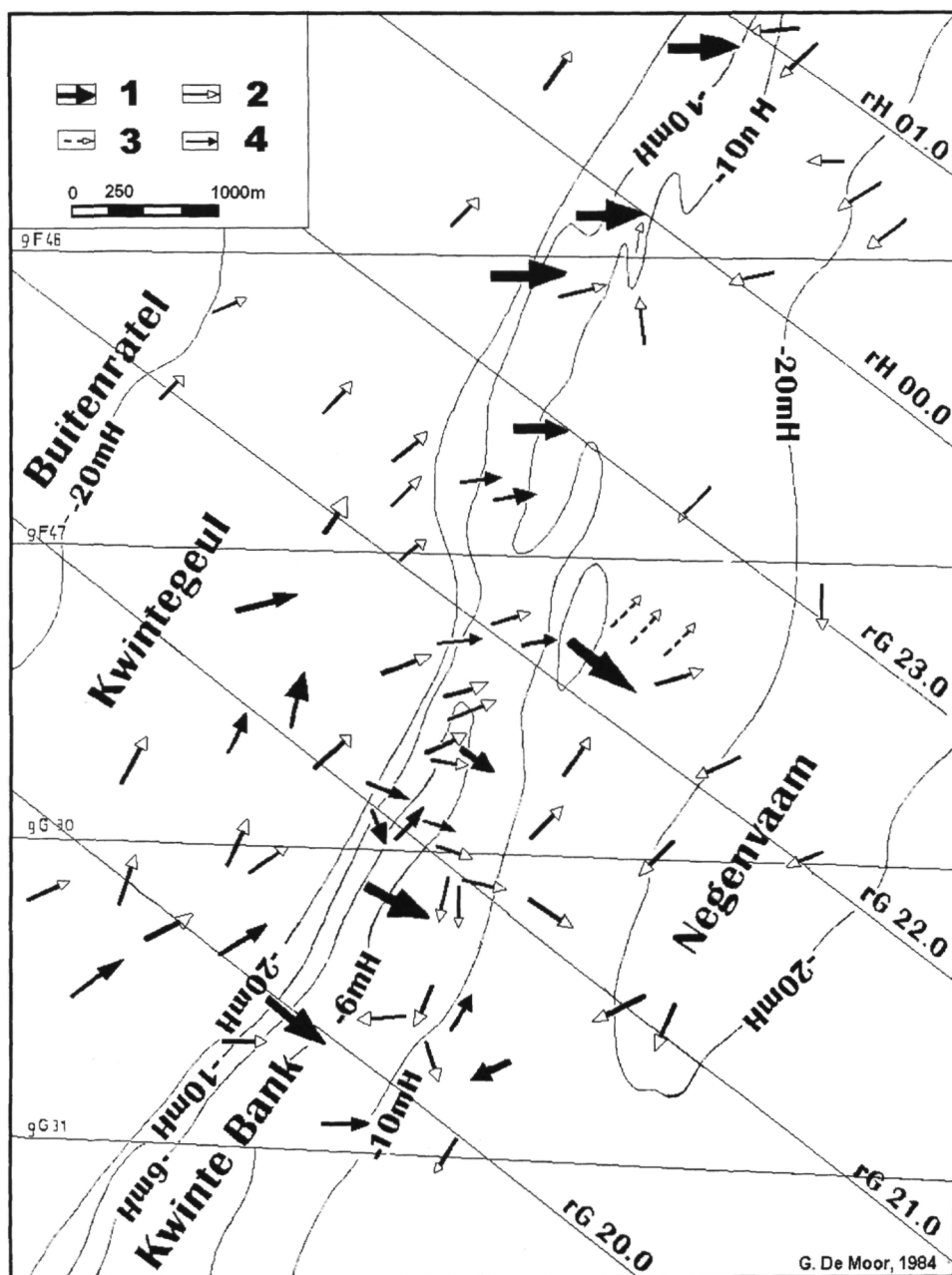


Fig. 34. — Kwindebak 30 november 1982. Sedimenttransportpaden op basis van strekking en asymetrie van zandgolven (1) en megaribbels (2, 3, 4) op sonogrammen (side scan sonar opnames en verwerking : G. De Moor, 1982).

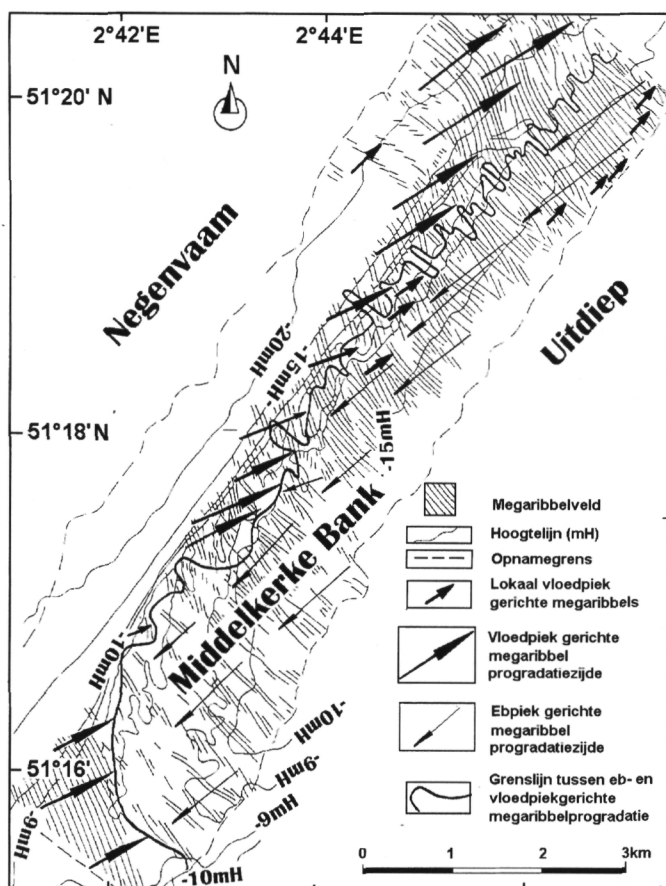


Fig. 35. — Middelkerkebank. Mei 1990. Residueel-transportpaden voor bodempland afgeleid van de morfologische kenmerken van megaribbels op sonogrammen (side scan sonar opnames en verwerking : G. De Moor en J. Lanckneus, 1990).

golven en megaribbels te bepalen. Sonogrammen zijn dikwijls onmisbaar voor correcte interpretatie van echogrammen.

Bathygrafie en bathymetrie met *satellietbeelden* bekomen met gereflecteerde hoogfrequente elektro-magnetische golven (licht, infrarood, radar, laser, etc.) berust op de interpretatie van veranderingen in de vervormingen van het zee-oppervlak (vooral het golfpatroon) onder invloed van het bodemreliëf. Dit vereist ijking met dieptelodingen. De methode is dubbel-inductief. Haar belang voor detectie van grote bodemvormen en voor overzichtskartering in slecht gekende gebieden kan niet ontkend worden. Haar mogelijkheden voor geomor-

fologisch risico-onderzoek worden bestudeerd.<sup>25, 26, 51</sup> Voordelen van satelliet-bathymetrie en andere *remote sensing* technieken zijn dat opnames over grote zones, zeer frequent en ineens kunnen gebeuren, dat opnamedata een grotere flexibiliteit krijgen en dat terreinwerk op zee alleen nodig is om ijkingsmateriaal te verzamelen

### 3. – Conclusions

1. – Dank zij de implementatie van de technologische ontwikkelingen inzake nautische en bathymetrische technieken en ook inzake digitale acquisitie en verwerkingsmiddelen uit de jaren 1980-1995 en door toepassen van deels innoverende wetenschappelijke verwerkingsmethodes is het mogelijk geweest om voor de periode 1985-95 geomorfologische risico's op de Vlaamse Banken te evalueren en tal van morfodynamische problemen te detecteren.

2. – De trendanalyse met morfometrische parameters laat toe hypsometrische evolutietrends en geomorfologische risico's langs vaste profiellijnen numerisch te formuleren en in een cartografische synthese te verwerken. Die tendenzen zijn echter geen lange-termijn predicties.

3. – Profielsuperpositie en seriële profielen vormen een machtig middel om in overzicht of in detail de morfodynamiek van grote en kleine reliëfsvormen te onderzoeken.

4. – De stabiliteitskaart laat toe om op het gekozen peil een beeld te bekomen van het stabiel gedeelte van een bank en van de omgevende risico-zone. Ze laat toe een eerste benadering te bekomen op basis van bestaande hydrografische kaarten maar geeft geen numerische informatie over de hoogteverandering zelf.

5. – De eerste resultaten van waarnemingen met de meest recente technieken geïmplementeerd sinds 1995 doen geen afbreuk aan de bevindingen bekomen door analyse van sequentiële profielopnames en door sonogrammen. Ze bevestigen dat de morfodynamiek van de oppervlakkige sedimentaire structuren een zeer grote complexiteit kent. Ze zullen ongetwijfeld een nieuwe fase in de vooruitgang van onderzoek en kennis van de geomorfologische risico's inluiden.

6. – De voornaamste resultaten die voor 1987-1995 in het gebied van de Vlaamse Banken bekomen werden kunnen als volgt samengevat worden.

De geulen hebben bijna overal een grote residuele stabiliteit gekend.

De evolutie op de banktoppen werd gedomineerd door een algemene verlagings-tendens. Die is belangrijk op de Oostdyck en op de noordzijde van de ver-

51. Hennings, I., Lurin, B., Vernemmen, C. & Vanhessche, U. (2000). *On the Behaviour of Hydrodynamic Processes due to the Presence of Submarine Sandwaves*. In TRENTESAU A. & GARLAN, T.(Ed.) : *Marine. Sandwave Dynamics*. Lille, University of Lille, Proceedings-International Workshop, pp. 85-92, 5 fig.

schillende banken. Ze is het grootst op het noordelijk-centrale deel van de Kwintebank waar zandwinning zo intens geworden is dat de natuurlijke herstelmogelijkheden door het maintenance mechanisme overschreden zijn. Op de Middelerkebank domineert stabiliteit ; lokaal bestaat daar zelfs een trend naar aanwas.

De grote zandgolven op de banktoppen vertoonden vooral oscillaties over korte afstand en weinig residuele verplaatsing. Wisselende getijstromen spelen een grote rol. Veranderingen op zeer korte termijn kunnen even belangrijk zijn als residuele veranderingen over maanden of zelfs jaren.

Verschuiving van banken of bankflanken zijn nauwelijks aan te tonen. Lokaal vindt men sporen van verschuiving van topconvexiteiten of van basisconcaviteiten. Zelden bedragen die meer dan 50 m en meestal hebben ze een oscillatoir karakter.

Talrijke feiten bevestigen het bestaan van een maintenance mechanisme dat aanvoer van zand naar de banktoppen toe door het opklimmen van megaribbels langs de flanken vooropstelt. Dit maintenance model <sup>3, 7, 29</sup> sluit aan bij de visies van Houbolt,<sup>52</sup> van Caston,<sup>53</sup> van Kenyon et al.<sup>54</sup> en van McCave & Langhorne <sup>55</sup> en ook die van Bastin <sup>56</sup> die aan het Corioliseffect een groot belang toekende. Het vult de hypothese van J. Van Veen <sup>17</sup> over het belang van vloed- en ebscharen bij de ontwikkeling van de Vlaamse Banken verder aan.

De variabiliteit in de sedimentbeweging en in de hoogteverandering wijst erop dat men voldoende frequent en voldoende lang bathymetrische opnames moet uitvoeren om tijdsreeksen te bekomen die toelaten om op overtuigende wijze de geomorfologische risico's in te schatten.

Er zijn duidelijke aanwijzingen dat de zandwinning op de Kwintebank de natuurlijke herstelmogelijkheden overschreden heeft.

Het bestaan van risicozones rond banken kan de interpretatie van seismogrammen inspireren, dat van een maintenance mechanisme de verklaring van de bankgenese vooruit helpen.

52. HOUBOLT, J. (1968). *Recent sediments in the Southern Bight of the North Sea*. In : *Geologie en Mijnbouw*, 47(4), pp. 245-273.

53. CASTON, V. (1972). *Linear Sandbanks in the Southern North Sea*. In : *Sedimentology*, 18, pp. 63-78.

54. KENYON, N., BELDERSON, R., STRIDE, A. & JOHNSON, M. (1981). *Offshore Tidal Sand-Banks as Indicators of Net Sand Transport and as Potential Deposits*. In : NIO, S., SCHUTTENHELM R. & VAN WEERING, T. (Ed.) : *Holocene Marine Sedimentation in the North Sea Basin*. International Association Sedimentologists, Special Publication, 5, London, Blackwell, pp. 257-268, 8 fig.

55. McCAVE I. & LANGHORNE, D (1982). *Sand Waves and Sediment Transport around the End of a Tidal Sand Bank*. In : *Sedimentology*, 29, pp. 95-110.

56. BASTIN, A. (1974). *Regionale sedimentologie en morfologie van de Zuidelijke Noordzee en van het Schelde estuarium*. Leuven, Katholieke Universiteit Leuven, Faculteit Wetenschappen, 91 p., 72 fig., 14 tab.

## BIBLIOGRAPHIE

- ADMIRALTY. (1965). *Admiralty Manual of Hydrographic Survey*. London, Hydrographer of the Navy, vol. 1, 671 p., numerous fig., tabl. & maps.
- BALSON, P.S. (2000). *Holocene Evolution of the Norfolk Banks*. In : Trenteseau A. & Garlan, T.(Ed.) : *Marine Sandwave Dynamics*. Lille, University of Lille, Proceedings International Workshop, pp.7.
- BELDERSON, R., KENYON, N., STRIDE, A. & STUBBS, R. (1983). *Sonographs of the Sea Floor. A Picture Atlas*. Amsterdam, Elsevier, 1983, 163 p.
- BOWDITCH, N (1977-81). *American Practical Navigator*. Wasinghton, Defence Mapping Agency, Hydrographic Center, vol. I (1977), 1386 p. numerous fig., tabl. & maps ; vol.II (1981), 961 p., numerous fig. & tabl.
- BASTIN, A. (1974). *Regionale sedimentologie en morfologie van de Zuidelijke Noordzee en van het Schelde estuarium*. Leuven, Katholieke Universiteit Leuven, Faculteit Wetenschappen, 91 p., 72 fig., 14 tab.
- BERNÉ, S. (2000). *Architecture, Dynamics and Preservation of Marine Sandwaves (Large Dunes)*. In : TRENTESAU, A. & GARLAN, T (Ed.) : *Marine Sandwave Dynamics*. Lille, University of Lille, Proceedings International Workshop, pp. 25-28, 2 fig.
- BERNÉ, S. TRENTESAU, A., STOLK A., MISSIAEN, T. & DE BATIST, M. (1994). *Architecture and Long Term Evolution of a Tidal Sandbank : the Middelkerke Bank (Southern North Sea)*. In : *Marine Geology*, 121, 57-72.
- CARPENTIER, R. (1980). *Voorlopig proces verbaal betreffende de resultaten van de boring uitgevoerd op de Kwintebank vòòr de kust van Nieuwpoort*. (Onuitgegeven verslag). Zwijnaarde, Rijksinstituut voor Grondmechanica, 3 p., 2 bijlagen.
- CASTON, V. (1972). *Linear Sandbanks in the Southern North Sea*. In : *Sedimentology*, 18, pp. 63-78.
- CODDE, R. & DE KEYSER, L. (1967). *Noordzee, Kust / Scheldemonding, ZeeSchelde*. Brussel, Nationaal Comité voor Geografie, Atlas van België, plaat 18 A / 18 B, Toelichtende tekst, 60 p., 12 fig., 15 tab.
- DE BATIST, M., TRENTESAU, A., MISSIAEN, T. & BERNÉ, S. (1994). *Large Scale Internal Structure of the Middelkerke Bank*. In : De Moor, G. (Ed.) : *Relationship between Sea Floor Currents and Sediment Mobility in the Southern North Sea*. (Onuitgegeven verslag). Brussels, EC-DG XII, Project MAST 1 RESECUSED, Final Report, pp. 4-1/4-29, 16 fig.
- DE CEURT, F. & VAN CAUWENBERGHE, C. (1983). *Het radioplaatsbepalingssysteem TORAN „Belgische kust en aangrenzend gebied”*. In : *Tijdschrift der Openbare Werken van België*, 1983 (3).
- DE MOOR, G. (1984). *Morfodynamiek en sedimentdynamiek rond de Kwintebank*, (Onuitgegeven verslag), Brussel, Ministerie Economische Zaken, Vol. I (219 p.), II (71 p.), III (65 p.), IV (39 p.), V (36 p.).
- DE MOOR, G. (1985). *Shelf Bank Morphology off the Belgian Coast. Recent Methodological and Scientific Developments*. In : VAN MOLLE (Ed.) : *Recent Trends in Physical Geography, Liber Amicorum L. Peeters*. Brussel, Study Series Vrije Universit. Brussel, New Ser. 20, pp. 47-90, 24 fig.

- DE MOOR, G. (1985). *Present Day Morphodynamics on the Kwinte Bank and their Meaning for the Evolution of the Flemish Banks*. In : VAN GRIEKEN, R. & WOLLAST, R (Ed.) : *Progress in Belgian Oceanographic Research*, Brussels, Royal Academy of Belgium, National Committee of Oceanolgy, 55-73, pp. 102-113, 5 fig.
- DE MOOR, G. (1986). *Geomorfologisch onderzoek op het Belgisch kontinentaal plat*. In : *Tijdschrift van de Belgische Vereniging voor Aardrijkskundige Studies*, 55, pp. 133-174, 11 fig.
- DE MOOR, G. (1989). Maintenance on the Flemish Banks. In : J-P. HENRIET, G. DE MOOR & M. DE BATIST (Eds.) : *Tertiary and Quaternary Geology of the Southern Bight*. Brussels. Ministry Economic Affairs, pp. 185-216, 17 fig.
- DE MOOR, G. (1991). *Developments in Sea Floor Research*. In : *Marine Research in Flanders*, Ostend, Instituut voor Zeewetenschappelijk Onderzoek, pp.14-28.
- DE MOOR, G. (1993). *Morfologische en sedimentologische impact van de zandontginningen*. In : L. RZONZEF (Ed.) : *Effekten op het marien leefmilieu van de zand- en grindwinningen op het Belgisch kontinentaal plat*. Brussel, Annalen der Mijnen België, 1993(2), pp. 16-24, 5 fig.
- DE MOOR, G. (1996). *Comparative Morphodynamics of the Middelkerke Bank and the Opposite Beaches along the Belgian Coast, 1992-1995*. (Onuitgegeven verslag), Brussel, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 39 p., 29 fig.
- DE MOOR, G., DE MAEYER, PH., ROTTHIER, R. & DE DECKER M.(1981). *Residual Effects of Multidirectional Movements with an Application to Coastal Processes*. In : *Colloque sur les méthodes quantitatives en Géographie*. Liège, Université de Liège, pp. 33-45.
- DE MOOR, G. & LANCKNEUS, J. (1989). *Acoustic Teledetection of Sea-Bottom Structures in the Southern Bight*. In : *Société belge de Géologie*, 97 (2), pp. 199-210.
- DE MOOR, G., & LANCKNEUS, J. (1990). *Stabilité et apports de sédiments sur les Bancs de Flandre*. In : *Annales Société géologique du Nord*, CIX, pp. 129-139, 13 fig.
- DE MOOR, G. & LANCKNEUS, J. (1991). *Zand- en grindwinning op het Belgisch continentaal plat en monitoring van de eventuele gevolgen voor de bodemstabiliteit*. In : *Colloquium Oppervlaktedelfstoffenproblematiek in Vlaanderen*. Gent, Universiteit Gent, Genootschap Gentse Geologen,. Proceedings, pp. 188-214, 20 fig.
- DE MOOR, G. & LANCKNEUS, J. (1994). *Eindverslag Project Westbank II*. (Onuitgegeven rapport), Brussel, Ministerie Economische Zaken, Dienst der Mijnen, deel I (tekst), 168 p., 102 fig., 20 tab., Bijlagen II-V.
- DE MOOR, G. & LANCKNEUS, J. (1994). *Eindverslag Project Gootebank*. (Onuitgegeven rapport), Brussel, Ministerie Economische Zaken, Dienst der Mijnen, deel I (tekst), 160 p., 97 fig., 17 tab., Bijlagen II-V.
- DE MOOR, G., LANCKNEUS, J. e. a. (1994). *Map of the Middelkerkebank, Southern North Sea*. EC, DGXII, project MAST I, RESECUSED, Gent, Laboratorium Fysische Geografie (RUG), 1 krt.
- DE MOOR, G., LANCKNEUS, J., BERNÉ, S., CHAMLEY, H., DE BATIST, M., DE PUTTER, B., MARSET, T., VAN SIELEGHEM, J., STOLK, A., TERWINDT, J. & VINCENT, C. (1993). *Sediment Transport and Bedform Mobility in a Sandy Shelf Environment*. In : BARTHEL K., BOHLE-CARBONEL M., FRAGAKIS, C. & WEYDERT, M. (Ed.) : *Marine Sciences and Technologies*.. Brussels, EG-DG XII, Project Report, Vol. 1, pp. 209-211.

- DE MOOR, G., LANCKNEUS, J., DE SCHAEPMEESTER, G. & LIBEER, L. (1989). *Acoustic Teledetection of Shelf Bedforms and their Meaning for Sediment Dynamics*. De Haag, International Commission Exploration of the Seas, Hydrography Committee, CM 1989/C :47, pp. 1-19, 8 fig.
- DE MOOR, G., LANCKNEUS, J., VAN OVERMEIRE, PH., VAN DEN BROECK, P. & MARTENS, E. (1989). *Volumetric Analysis of Residual Sediment Migrations on Continental Shelf Sand Banks in the Southern Bight (North Sea)*. De Haag, International Commission Exploration of the Seas, Hydrography Committee, CM 1989/C 43, pp. 1-25, 15 fig.
- DRAAISMA, Y., DE MEESTER, J.J., MULDER, J.H. & SPAANS, J.A. (1979-82) *Leerboek Navigatie*. De Boer Maritiem, Deel 1, 246 p. fig. tab. ; Deel 2, 219 p., fig., tab..
- FLEMMING, B. W. (1976). *Guide pratique du sonar latéral*. In : *Revue Hydrographique Internationale*, 53 (1), 73-96, 10 fig.
- GAO, S., COLLINS, M.B., LANCKNEUS, J., DE MOOR, G. & VAN LANCKER, V. (1994). *Grain Size Trends Associated with Net Sediment Transport Patterns : an Example from the Belgian Continental Shelf*. In : *Marine Geology*, 121, pp. 171-185.
- HENNINGS, I., LURIN, B., VERNEMMEN, C. & VANHESSCHE, U. (2000). On the Behaviour of Hydodynamic Processes Due to the Presence of Submarine Sandwaves. In : TRENTESAU A. & GARLAN, T.(Ed.) : *Marine Sandwave Dynamics*. Lille, University of Lille, Proceedings International Workshop, pp. 85-92, 5 fig.
- HEYSE, I. & VAN WEZENBEECK, V. (1996). *Chronosequential Side Scan Sonar Recordings on the Middelkerke Bank*. In : I. HEYSE & G. DE MOOR (Ed ) : *Sediment Transport and Bedform Mobility in a Sandy Shelf Environment*. (Onuitgegeven verslag). Brussels, EC, DG XII, Project Mast 2, STARFISH, Final Report, pp. 10.1-10.22, 9 fig.
- HOUBOLT, J. (1968). *Recent Sediments in the Southern Bight of the North Sea*. In : *Geologie en Mijnbouw*, 47(4), pp. 245-273.
- HOUTHUYS, R. (1994). *Impact of a Storm Period on the Middelkerke Bank*. In : G. DE MOOR (Ed.) : *Relationship between Sea Floor Currents and Sediment Mobility in the Southern North Sea..* Brussels, EC-DG XII, Final Report Project MASTt-0025-C, pp. 4.1-4.29, 16 fig.
- HOUTHUYS, R. (1996). Chronosequential Depth Measurements in Very Shallow Waters by Hovercraft : Recording and Processing. In I. HEYSE & G. DE MOOR (Ed.) : *Sediment Transport and Bedform Mobility in a Sandy Shelf Environment*. (Onuitgegeven verslag). Brussels, EC, DG XII, Project MAST 2, STARFISH, Final Report, pp. 5-1/5-25, 15 fig.
- HOUTHUYS, R., TRENTESAU, A. & DE WOLF, P. (1994). *Storm Influences on a Tidal Sandbank's Surface, Middelkerke Bank, Southern North Sea*. In : *Marine Geology*, 121, pp. 23-41.
- HJULSTRÖM, F. (1935). *Studies of the Morphological Activity of Rivers as Illustrated by the River Frys*. In : *Bulletin Geological Institute University . Uppsala*, 25, pp. 221-527.
- INGHAM, A. E. (1992). *Hydrography for the Surveyor and the Engineer*. London, Granada Technical Books.
- Internationale Kaartserie Noordzee. (1992). *Frans-Belgische Kust van Duinkerke tot Oostende. Schaal 1:60.000. INT 1480/102*. Brussel, Ministerie Vlaamse Gemeenschap, Hydrografische Dienst der Kust



- KENYON, N., BELDERSON, R., STRIDE, A. & JOHNSON, M. (1981). *Offshore Tidal Sandbanks as Indicators of Net Sand Transport and as Potential Deposits*. In : NIO, S., SCHÜTTENHELM R. & VAN WEERING, T. (Ed.) : *Holocene Marine Sedimentation in the North Sea Basin*, International Association Sedimentologists, Special Publication 5, London, Blackwell, pp. 257-268, 8 fig.
- LANCKNEUS, J.(1989). *A Comparative Study of Some Characteristics of Superficial Sediments on the Flemish Banks*. In : J-P. HENRIET, G. DE MOOR & M. DE BATIST (Ed.) : *Tertiary and Quaternary Geology of the Southern Bight*. Brussels, Ministry Economic Affairs, pp. 229-241, 18 fig., 7 tab.
- LANCKNEUS, J. & DE MOOR, G. (1991). *Present Day Evolution of Sandwaves on a Sandy Shelf Bank in the Southern Bight*. In : *Oceanologica Acta*, Special Volume n° 11, pp. 123-127, 5 fig.
- LANCKNEUS, J. & DE MOOR, G. (1994). *Evolution of Large Dunes*. In : G. DE MOOR (Ed.) : *Relationship between Sea Floor Currents and Sediment Mobility in the Southern North Sea*. (Onuitgegeven verslag). Brussels, EC-DG XII, Project MAST 1, RESCUSED, Final Report, pp. 9-1/9-22, 17 fig.
- LANCKNEUS, J., DE MOOR, G., DE SCHAEPMEESTER, G., MEYUS, I. & SPIERS V. (1992). *Residual Sediment Transport Directions on a Tidal Sandbank. Comparison of the "MacLaren Model" with Bedform Analysis*. In : Tijdschrift van de Belgische Vereniging voor Aardrijkskundige Studies, 1992(2), pp. 413-424, 7 fig.
- LANCKNEUS, J., DE MOOR, G., VANDELDELDE, L., DE WINNE, E., SANDOZ ALMAZO, I. & GARRIDO MARTIN, T. (1993). *Morphodynamics and Sedimentdynamics in the Southern Bight*. In : J. NIHOUL (Ed.) : *Progress in Belgian Oceanographic Research*. Brussels, Royal Academy of Belgium, National Committee of Oceanology, pp. 55-73, 9 fig.
- LANCKNEUS, J., DE MOOR, G. & STOLK, A. (1994). *Environmental Setting, Morphology and Volumetric Evolution of the Middelkerke Bank (Southern North Sea)*. In : *Marine Geology*, 121, pp. 1-21, 13 fig.
- LANGHORNE, D.N. (1982). *The Stability of the Top Metre of the Sea Bed. Its Importance to Engineering and Navigational Projects*. In : *International Hydrographic Review*, LIX (2).
- LIU, A.C., MISSIAEN, T. & HENRIET, J.-P. (1992). *The Morphology of the Top-Tertiary Erosian Sea Floor in the Belgian Sector of the North Sea*. In : *Marine Geology*, 105, pp. 275-284.
- MCCAVE I. & LANGHORNE, D (1982). *Sand Waves and Sediment Transport around the End of a Tidal Sandbank*. In : *Sedimentology*, 29, pp. 95-110.
- MAERTENS, D. (1988). *The Western Sand Extraction Area on the Belgian Continental Shelf*. De Haag, International Commision Exploration of the Seas, Hydrography Committee, C.M. 1988/E : 2, 42 p., 13 fig.
- MILLS, C. (2000). *Assessment of the Impact of Changes in Bathymetry on the Safety of Navigation ; the UKHO Experience*. In : TRENTESAU A. & GARLAN, T.(Ed.) : *Marine Sandwave Dynamics*. Lille, University of Lille, Proceedings International Workshop, 127-129
- MOSTAERT, F., AUFFRET, J.P., DE BATIST M., HENRIET, J.-P., MOONS, A., SEVENS, E., VAN DEN BROEKE I. & VERSCHUREN, M. (1989). *Quaternary Shelf Deposits and Drainage Patterns off the French and Belgian Coasts*. In : J.-P. HENRIET, G. DE MOOR &

- M. DE BATIST (Ed.) : *Tertiary and Quaternary Geology of the Southern Bight*. Brussels, Ministry Economic Affairs, pp. 111-118, 2 fig.
- REDDING, J.H., (2000). *Experimental Manipulation of Sandwaves to Reduce their Navigation Hazard Potential, Jade Shipping Channel, N. Germany*. In : TRENTESAU A. & GARLAN, T.(Ed.) : *Marine Sandwave Dynamics*. Lille, University of Lille, Proceedings International Workshop, pp. 169-176.
- SHANNON, J. (1999) *The Sea from Space. Practical Applications of Satellite Derived Data*. In : *Hydro International*, 3(2).
- SONNENBERG, G.J. (1975). *Elektronische navigatiemiddelen*. Culemborg, STAM Technische Boeken, 361 p.
- STOLK, A. (1993). *Hydrodynamics and Suspended Load : Shipborn Tidal Cycle and Stand-Alone Frame Measurements*. In : DE MOOR G. (Ed.) : *Sediment Mobility and Morphodynamics of the Middelkerkebank*, (Onuitgegeven verslag), EC, DGXII, project MAST I, RESECUSED, Final Report, pp. 7/1-7/17, 11 fig.
- STOLK, A. (2000). *The Role of Sandwaves in the Management of the Netherlands Continental Shelf*. In : TRENTESAU A. & GARLAN, T. (Ed.) : *Marine Sandwave Dynamics*. Lille, University of Lille, Proceedings International Workshop, pp. 199-200.
- STRIDE, A. (1982). *Offshore Tidal Sands. Processes and Deposits*. London, Chapman & Hall, 222 p., 89 fig., 13 tab., 2 app.
- STRIDE, A. (1989). *Modern Deposits, Quasi-Deposits and Some Holocene Sequences in the Southern Bight, North Sea*. In : J.-P. HENRIET, G. DE MOOR & M. DE BATIST (Ed.) : *Tertiary and Quaternary Geology of the Southern Bight*. Brussels, Ministry Economic Affairs, pp. 149-159, 1 fig.
- TEUNISSEN P. (1991). *Differential GPS : Concepts and Quality Control*. Amsterdam, Netherlands Institute of Navigation, Invited lecture, 45 p., 16 fig. 6 fig., 6 tab.
- TYTGAT, J. (1989). *Dynamics of Gravel in the Superficial Sediments of the Flemish Banks, Southern North Sea*. In J.-P. Henriet, G. DE MOOR & M. DE BATIST (Ed.) : *Tertiary and Quaternary Geology of the Southern Bight*. Brussels, Ministry Economic Affairs, pp. 217-228, 7 fig.
- TRENTESAU, A., BERNÉ, S., DE BATIST, M. & CHAMLEY, H. (1993) *Architecture interne d'un banc sableux de la Mer du Nord méridionale*. In : *Comptes Rendus Académie Sciences Paris*, t. 316, sér. II, pp. 99-106, 3 fig.
- TRENTESAU, A., STOLK, A., TESSIER, B. & CHAMLEY, H. (1994). *Surficial Sedimentology of the Middelkerke Bank ( Southern North Sea)*. In : *Marine Geology*, 121, pp. 43-55.
- VAN CAUWENBERGHE, C. (1971). *Hydrografische analyse van de Vlaamse Banken langs de Belgisch-Franse kust*. In : *Het Ingenieursblad*, 40 (19), pp. 563-571, 7 fig.
- VAN CAUWENBERGHE, C. (1977). *Overzicht van de tijwaarnemingen langs de Belgische kust voor Oostende (1941-1970) en voor Zeebrugge en Nieuwpoort (1959-1970)*. In : *Tijdschrift Openbare Werken België*, n° 4, pp. 1-12, 21 tab, 5 fig.
- VAN CAUWENBERGHE, C. (1992). *Noordzee-Vlaamse Banken. Stroomatlas 1992*. Oostende, Dienst der kusthavens, Hydrografie. 24 krt.
- VAN CAUWENBERGHE, C. (1993). *Overzicht van de tijwaarnemingen langs de Belgische kust. Periode 1981-1990 voor Nieuwpoort, Oostende en Zeebrugge*. Oostende, Hydrografische Dienst. Rapport n° 40, pp. 1-14, 21 tab., 3 fig.
- VAN CAUWENBERGHE, C. (1996). *Chronosequential Multibeam Echosounding by Vessel : Recording and Processing*. In I. HEYSE & G. DE MOOR (Ed ) : *Sediment Transport*

- and Bedform Mobility in a Sandy Shelf Environment*. Brussels, EC, DG XII, Project MAST 2, STARFISH, Final Report, pp. 5-1/ 5-18, 13 ann.
- VAN CAUWENBERGHE, C. (2000). *Relative Sea Level Rise along the Belgian Coast : Analyses and Conclusions with Respect to the High Water, the Mean Sea and the Low Water Level*. In : *Hydrographic Journal*, 97, pp. 7-11, 5 tab., 7 fig.
- VAN CAUWENBERGHE, C. (2000). *Interrelationship between Hydrography, Sedimentology and Modelling*. In : TRENTESAU A. & GARLAN, T.(Ed.) : *Marine Sandwave Dynamics*. Lille, University of Lille, Proceedings International Workshop, pp. 201-204.
- VAN CAUWENBERGHE, C. (2001). *Hydrografie*, (onuitgegeven cursus), Oostende, K.H.B.O.
- VAN CAUWENBERGHE, C., DEKKER, L. & SCHURMAN, A. (1987). *M2-tidal Reduction Method for Coastal Zones*. Amsterdam, Hydrographic Society, Workshop on Tidal Reduction Methods, pp. 1-5.
- VAN CAUWENBERGHE, C., DEKKER, L. & SCHURMAN, A. (1993). *M2 Tidal Reduction Method for Coastal Waters*. Oostende, Hydrografische Dienst. Rapport. n° 33, 12 p.
- VAN CAUWENBERGHE, C. & DENDUYVER, D. (1993). *Het radioplaatsbepalingssysteem Syledis langs de Belgische kust en aangrenzend gebied*. Oostende, Hydrografische Dienst der Kust, rapport n° 41, 22 p.
- VANDEVELDE, L., VERNEMMEN, C., DE MOOR, G. & JASPAR, A. (1994). *Detection of Sea-Bottom Topography with ERS-1 SAR.PTI Images on the Belgian Continental Platform.*, Toledo, First ERS-1 Pilot Project Workshop, pp. 303-308,, 6 fig., 1 photo, 3 tab.
- VAN VEEN, J. (1936). *Onderzoekingen in de Hoofden in verband met de gesteldheid der Nederlandsche Kust*. 's Gravenhage, Nieuwe Verh. Bataafsch Genootsch., 252 p., 148 fig.
- VLAEMINCK, I., HOUTHUYS, R. & GULLENTOPS, F. (1989). *A Morphological Study of Sandbanks off the Belgian Coast*. In G. Pichot (Ed.) : *Progress. Belgian Oceanographic Research*, Brussel, Management Unit Mathematical Model North Sea, pp. 179-195.
- VERSTEEG, H. A. (2000). *Tidal Reduction on Fairsheet Level*. *Hydro*, 4 (6), pp. 6-9, 3 fig.
- WENSINK, G.J., HESSELMANS, G.H.F.M., CALCOEN, C.J. & VOGELZANG A. (1996). *The Bathymetry Assessment System (BAS)*, *Hydro '96*, Tenth Biennial International Symposium of the Hydrographic Society, 2° session : New Technology, Proceedings.

#### BEDANKING

De auteur bedankt het Belgisch Ministerie voor Economie, de DG XII van de Europese Gemeenschap, het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, de Dienst Programmatie van het wetenschapsbeleid (D.P.W.B.), de Beheerseenheid Mathematisch Model Noordzee (B.M.M.N.) in Brussel en in Oostende, de Hydrografische Dienst der Kust te Oostende alsook de bevelhebbers en de bemanning van de schepen die deelgenomen hebben aan de opnames van de echogrammen en sonogrammen en de medewerkers en deelnemers aan de projecten Kwintebank (1980-84), O.O.A. I et O.O.A. II (1984-1989), Westbank (1985-87 ; 1989-1992 ; 1992-1994), Gootebank (1992-94), Mast (1989-92) , Starfish (1993-96) et Starco (1993-95).

## BIJLAGE 1

### Overzicht van de campagnes voor opname van echogrammen en sonogrammen op de Vlaamse Banken in de periode 1984-1995

Lijst opgemaakt op basis van de rol van opvarenden berustend bij de Beheers-  
eenheid Mathematisch Model Noordzee en van de logboeken en trackplots berustend op  
het Laboratorium Fysische Aardrijkskunde (RUG)

#### 1984

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper a/b
20.08.84 / 23.08.84	Belgica	R. Cops	
	Belgica	R. Cops	G. De Moor
	Belgica	R. Cops	

#### 1985

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper a/b
10.02.85 / 11.02.85	Belgica	R. Cops	G. De Moor
28.05.85 / 31.05.85	Belgica	R. Cops	G. De Moor
05.06.85 / 06.06.85	Belgica	R. Cops	G. De Moor
22.06.85 / 26.06.85	Paster Pye	x	G. De Moor
09.09.85 / 13.09.85	Belgica	R. Cops	G. De Moor
25.11.85 / 29.11.85	Belgica	R. Cops	G. De Moor

#### 1986

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper a/b
10.02.86 / 12.02.86	Belgica	x	G. De Moor
14.04.86 / 15.04.86	Belgica	x	G. De Moor
26.05.86 / 30.05.86	Belgica	x	G. De Moor
10.11.86 / 18.11.86	Belgica	x	G. De Moor
01.12.86 / 02.12.86	Belgica	x	G. De Moor

#### 1987

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper
23.02.87 / 26.02.87	Belgica	x	G. De Moor
06.04.87 / 10.04.87	Belgica	x	G. De Moor
25.05.87 / 27.05.87	Belgica	R. Simpelaere	G. De Moor
23.11.87 / 27.11.87	Belgica	R. Simpelaere	G. De Moor
30.11.87 / 04/12.87	Belgica	R. Simpelaere	G. De Moor

### 1988

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper a/b
22.02.88 / 26.02.88	Belgica	R. Simpelaere	G. De Moor
21.03.88 / 22.03.88	Belgica	R. Simpelaere	J. Lanckneus
30.05.88 / 03.06.88	Belgica	L. Krott	J. Lanckneus
07.11.88 / 08.11.88	Belgica	L. Krott	G. De Moor
21.11.88 / 25.11.88	Belgica	L. Krott	G. De Moor

### 1989

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper a/b
15.02.89 / 22.02.89	Belgica	L. Krott	G. De Moor
16.05.89 / 18.05.89	Belgica	L. Krott	G. De Moor / J. Lanckneus
16.06.89 / 21.06.89	Belgica	L. Krott	G. De Moor
26.06.89 / 29.06.89	Belgica	L. Krott	G. De Moor
10.07.89 / 13.07.89	Belgica	L. Krott	G. De Moor
23.11.89 / 01.12.89	Belgica	L. Krott	G. De Moor / J. Lanckneus

### 1990

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper a/b
26.02.90 / 02.03.90	Belgica	L. Krott	G. De Moor
23.03.90 / 24.03.90	Belgica	L. Krott	J. Lanckneus
14.05.90 / 18.05.90	Belgica	L. Krott	G. De Moor
06.06.90 / 08.06.90	Belgica	L. Krott	G. De Moor
16.07.90 / 20.07.90	Belgica	L. Krott	G. De Moor
17.10.90 / 19.10.90	Belgica	L. Krott	J. Lanckneus
12.11.90 / 16.11.90	Belgica	L. Krott	G. De Moor

### 1991

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper a/b
25.02.91/28.02.91	Belgica	L. Krott	G. De Moor
29.04.91/08.05.91	Belgica	L. Krott	J. Lanckneus
07.05.91/08.05.91	Belgica	L. Krott	G. De Moor
17.06.91/19.06.91	Belgica	F. Smagghe	G. De Moor
01.07.91/05.07.91	Belgica	F. Smagghe	G. De Moor
15.07.91/19.07.91	Ter Streep	x	G. De Moor
16.09.91/17.09.91	Belgica	F. Smagghe	G. De Moor
20.11.91/22.11.91	Belgica	F. Smagghe	G. De Moor
02.12.91/06.12.91	Belgica	F. Smagghe	J. Lanckneus

### 1992

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper a/b
03.03.92 / 10.03.92	Belgica	F. Smagghe	J. Lanckneus
05.04.92 / 06.04.92	Belgica	F. Smagghe	G. De Moor
04.05.92 / 07.05.92	Belgica	F. Smagghe	G. De Moor
10.06.92 / 11.06.92	Belgica	F. Smagghe	J. Lanckneus
05.07.92 / 10.07.92	Belgica	F. Smagghe	J. Lanckneus
07.09.92 / 09.09.92	Belgica	F. Smagghe	J. Lanckneus
19.10.92 / 27.10.92	Belgica	F. Smagghe	J. Lanckneus
30.11.92 / 04.12.92	Belgica	F. Smagghe	J. Lanckneus
21.12.92 / 23.12.92	Belgica	F. Smagghe	De Schaepmeester

### 1993

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper a/b
22.02.93 / 25.02.93	Belgica	F. Smagghe	G. De Moor
10.05.93 / 14.05.93	Belgica	F. Smagghe	G. De Moor
16.06.93 / 18.06.93	Belgica	F. Smagghe	J. Lanckneus
13.07.93 / 18.07.93	Ter Streep	x	J. Lanckneus
06.09.93 / 17.09.93	Belgica	F. Smagghe	G. De Moor / J. Lanckneus
11.10.93	Ter Streep	x	J. Lanckneus
15.10.93	Ter Streep	x	J. Lanckneus
25.10.93 / 29.10.93	Ter Streep	R. Beulen	G. De Moor
08.11.93 / 12.11.93	Belgica	R. Beulen	G. De Moor
13.12.93 / 17.12.93	Belgica	R. Beulen	G. De Schaepmeester

### 1994

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper a/b
07.02.94 / 11.02.94	Belgica	R. Beulen	G. De Moor
28.02.94 / 04.03.94	Belgica	R. Beulen	J. Lanckneus
09.05.94 / 11.05.94	Belgica	R. Beulen	J. Lanckneus
14.09.94 / 18.09.94	Belgica	R. Beulen	G. De Moor
26.09.94 / 27.09.94	Belgica	R. Beulen	G. De Moor
16.11.94 / 18.09.94	Belgica	R. Beulen	I. Heyse
12.12.94 / 16.12.94	Belgica	R. Beulen	I. Heyse

### 1995

Datum	Vaartuig	Bevelhebber	Hoofdwetenschapper a/b
08.02.95 / 11.02.95	Belgica	R. Beulen	G. De Moor
06.06.95 / 09.06.95	Belgica	R. Beulen	I. Heyse

## BIJLAGE 2

### Vlaamse Banken - Referentiewaarden Banktop

Lijst van referentiewaarden voor het eenheidsvolume van de banktop langs verschillende referentielijnen voor de periode 1987-94, van de overeenkomstige gemeten waarden in 1998 en van de dichtstbij gelegen gemeten waarden voor het corresponderend eenheidsvolume in de periode 1987-94.

#### OOSTDYCKBANK    BANKTOP

Referentie-profiel	Grensvlak (mH)	Lengte 1988 (m)	Referentie eenheidsvolume 1987-94 (m³/m)	Einheidsvolume juni 1998 (m³/m)	Dichtste gemeten eenheidsvolume (1987-94) (m³/m)	Aantal profielen (1987-94)
rG 21.0	-17.5	545	528	-	-	17
rG 20.0	-12.5	860	2320	1696	1713	18
rG 19.0	-12.5	927	2211	1748	1835	22
rG 18.0	-12.5	845	1735	1618	1622	23
rG 17.0	-12.5	1050	2318	2081	2026	21
rG 16.0	-12.5	1080	3897	3469	3395	26
rG 12.0	-10.0	1660	3817	-	-	17
rG 11.0	-10.0	2060	6949	-	-	14

#### BUITENRATELBANK    BANKTOP

Referentie-profiel	Grensvlak (mH)	Lengte 1988 (m)	Referentie eenheidsvolume 1987-94 (m³/m)	Einheidsvolume juni 1998 (m³/m)	Dichtste gemeten eenheidsvolume (1987-94) (m³/m)	Aantal profielen (1987-94)
rG 23.0	-20.0	3255	246	-	-	21
rG 22.0	-17.5	836	364	350	353	26
rG 21.0	-15.0	827	1086	1089	1087	27
rG 20.0	-12.5	713	635	376	416	24
rG 19.0	-10.0	987	494	498	498	27
rG 18.0	-10.0	1345	2163	2007	2014	24
rG 17.0	-10.0	650	2747	2648	2649	25
rG 16.0	-7.5	882	1161	1106	1146	26
rG 12.0	-7.5	1530	1932	-	-	17
rG 11.0	-7.5	1350	2728	-	-	13

#### KWINTEBANK    BANKTOP

Referentie-profiel	Grensvlak (mH)	Lengte 1988 (m)	Referentie eenheidsvolume 1987-94 (m³/m)	Einheidsvolume juni 1998 (m³/m)	Dichtste gemeten eenheidsvolume (1987-94) (m³/m)	Aantal profielen (1987-94)
rH 02.0	-15.0	182	193	178	179	34
rH 01.0	-15.0	405	226	353	352	46
rH 00.0	-15.0	932	903	1743	1547	64
rG 23.0	-12.5	340	241	304	318	41
rG 22.0	-12.5	380	543	435	439	36
rG 21.0	-12.5	1150	5322	1165	4396	32
rG 20.0	-12.5	1130	5129	4480	4615	32
rG 19.0	-12.5	1450	7630	7430	7482	32
rG 18.0	-12.5	1980	9508	8774	8792	32
rG 17.0	-12.5	1850	4960	7593	6152	29

#### MIDDELKERKEBANK    BANKTOP

Referentie-profiel	Grensvlak (mH)	Lengte 1988 (m)	Referentie eenheidsvolume 1987-94 (m³/m)	Einheidsvolume juni 1998 (m³/m)	Dichtste gemeten eenheidsvolume (1987-94) (m³/m)	Aantal profielen (1987-94)
rH 02.0	-10.0	70	220	-	-	33
rH 01.0	-10.0	400	545	-	-	34
rH 00.0	-10.0	500	305	-	-	31
rG 23.0	-10.0	530	513	-	-	25
rG 22.0	-10.0	1300	185	-	-	26
rG 21.0	-10.0	1630	3490	-	-	14
rG 20.0	-10.0	1730	3344	-	-	26
rG 19.0	-10.0	1110	562	-	-	23
rG 18.0	-12.5	1200	3319	-	-	11

### BIJLAGE 3

#### Vlaamse Banken - Referentiewaarden Geulbodem

Lijst van referentiewaarden voor het eenheidsvolume van de geulbodem langs verschillende referentielijnen voor de periode 1987-94, van de overeenkomstige gemeten waarden in 1998 en van de dichtstbij gelegen gemeten waarden voor het correponderend eenheidsvolume in de periode 1987-94.

#### RATELGEUL GEULBODEM

Referentie-profiel	Grensvlak (mH)	Lengte 1988 (m)	Referentie eenheidsvolume 1987-94 (m³/m)	Eenheidsvolume juni 1998 (m³/m)	Dichtste gemeten eenheidsvolume (1987-94) (m³/m)	Aantal profielen (1987-94)
rG 22.0	-	-	-	-	-	-
rG 21.0	-25.0	2760	7	629	-	17
rG 20.0	-25.0	2960	7703	-	-	22
rG 19.0	-25.0	2900	6071	-	-	23
rG 18.0	-25.0	2430	5402	-	-	25
rG 17.0	-22.5	4350	10948	-	-	24
rG 16.0	-22.5	4890	10935	-	-	22
rG 12.0	-22.5	2970	7166	-	-	12
rG 11.0	-22.5	2690	5388	-	-	12

#### KWINGTEGEUL GEULBODEM

Referentie-profiel	Grensvlak (mH)	Lengte 1988 (m)	Referentie eenheidsvolume 1987-94 (m³/m)	Eenheidsvolume juni 1998 (m³/m)	Dichtste gemeten eenheidsvolume (1987-94) (m³/m)	Aantal profielen (1987-94)
rG 23.0	-23.0	1570	4709	-	-	18
rG 22.0	-20.0	2750	9006	-	-	26
rG 21.0	-20.0	2420	8301	-	-	22
rG 20.0	-22.5	1750	2351	-	-	24
rG 19.0	-22.5	1750	2831	-	-	25
rG 18.0	-22.5	1820	2726	-	-	25
rG 17.0	-22.5	1650	1	404	-	22

#### NEGENVAAM GEULBODEM

Referentie-profiel	Grensvlak (mH)	Lengte 1988 (m)	Referentie eenheidsvolume 1987-94 (m³/m)	Eenheidsvolume juni 1998 (m³/m)	Dichtste gemeten eenheidsvolume (1987-94) (m³/m)	Aantal profielen (1987-94)
rH 02.0	-20.0		7738	-	-	31
rH 01.0	-20.0		5048	-	-	37
rH 00.0	-20.0		2490	-	-	34
rG 23.0	-17.5	2230	7197	-	-	23
rG 22.0	-20.0	1340	1383	-	-	27
rG 21.0	-15.0	2000	4255	-	-	23
rG 20.0	-15.0	1760	4656	-	-	30
rG 19.0	-15.0	1300	1845	-	-	24
rG 18.0	-12.5	1390	2637	-	-	15



## BIJLAGE 4

### **Korte historiek van het onderzoekswerk op de Noordzee uitgevoerd in 1980-1995 door het Laboratorium voor Fysische Geografie (RUG)**

Bij het onderzoek naar de geomorfologische risico's op de Vlaamse Banken in de periode 1985-1995 is gebruik gemaakt van het gegevensbestand inzake echogrammen, sonogrammen, bijhorende positie- en navigatiegegevens en getijdekurven verworven binnen verschillende onderzoekings-projecten uitgevoerd aan het Laboratorium voor Fysische Geografie van de Universiteit Gent onder de leiding van Guy De Moor. Voor het verwerven van dit gegevensbestand zijn in de periodes 1980-1995 meer dan 100 campagnes (met een duur van 1 tot 14 dagen) uitgevoerd op het Belgisch Continentaal Plat. Hierdoor werden een aantal referentieprofielen door banken en geulen minstens 4 tot 6 maal per jaar opgenomen.

Het vertrekpunt van dit onderzoek was de vraag naar de weerslag van de zandwinnings in de concessiezone 2 (meer bepaald op de Kwintebank, de Buitenratel en de Oostdyck) op de bodemstabiliteit binnen het Belgisch Continentaal Plat, zoals die in 1980 geformuleerd werd door het federaal Ministerie van Economische Zaken.

In 1980 werd gestart met het pilootproject „KWINTEBANK” voor onderzoek gedurende de periode 1980-1983. Dit project was vooral gericht op de ontwikkeling van een operationele monitoringsprocedure van de bathymetrische en sedimentologische veranderingen. Het waarnemingswerk op zee bestond uit bathymetrische en side scan sonar opnames, uit bemonstering van oppervlakkige sedimenten en uit ondiepe reflectiesismiek terwijl ook een aantal trilboringen uitgevoerd werden. Dit terreinwerk werd uitgevoerd met vaartuigen van het type kustmijnveger (MSI). Occasioneel werd ook het hydrografisch schip „PASTER PYPE” ter beschikking gesteld (zie bijlage 1). In mei 1983 werd beroep gedaan op het extern gecharterd ondersteuningsvaartuig „ALKAÏD”. Gedurende deze aanloopperiode werden ook de laboratoriumuitrusting voor behandeling van sedimenten en vooral de computeruitrusting nodig voor de verwerking van de veldgegevens operationeel gemaakt. Grote aandacht ging naar de uitwerking van originele programmatuur voor de diverse verwerkingsprocedures vermits in die periode nog geen passende commerciële programmatuur beschikbaar was en naar de uitbouw van correctieprocedures. De terreinwaarnemingen werden uitgevoerd met een KRUPP echoloder, met een KLEIN 520 side scan sonar, met een ORE pinger terwijl voor de navigatie aanvankelijk alleen DECCA beschikbaar was maar later ook op TORAN kon beroep gedaan worden.

Vanaf 1984 werd nagenoeg uitsluitend gebruik gemaakt van het Belgisch Oceanografisch schip BELGICA dat uitgerust was met een HP600A computer en een specifieke programmatuur ODAS I waardoor digitale acquisitie van hoogfrequente navigatie- en dieptegegevens mogelijk werd. Vanaf 1984 is occasioneel gebruik gemaakt van het hydrografisch schip TER STREEP dat eveneens in 1984 in de vaart gekomen. Vanaf 1985 waren navigatie en positionering gebaseerd op SYLEDIS, terwijl voor bathymetrie een ATLAS DESO XX echoloder met golfcompensator TSS320B en voor de opname van sonogrammen een KLEIN 521 side scan sonar ingeschakeld werden. Hierdoor konden nauwkeurige navigatie en lodingen bekomen worden.

In 1988 heeft het federaal Ministerie voor Economische Zaken een nieuw project, „WESTBANK I”, toegekend voor voortzetting van de monitoring van de effecten van de zandwinnings in de concessiezone 2 over de periode 1989-1991. In de periode 1992-1995 kon de monitoring op het Belgisch Continentaal Plat voortgezet worden dank zij twee onderzoeksprojecten die het federaal Ministerie voor Economische Zaken in 1992 toegekend had, nl. het project „WESTBANK II” voor monitoring in de concessiezone 2 en het project „GOOTEBANK I”. Dit laatste was speciaal bedoeld om de morfodynamiek en de sedimentdynamiek in de concessiezone 1, waarin de Gootebank gelegen is, op te volgen.

Ondertussen heeft de Dienst voor Wetenschapsbeleid achtereenvolgens twee O.O.A-onderzoekingsprojecten „MARIENE GEOLOGIE” toegekend aan de Universiteit Gent, respectievelijk voor de periode 1985-1988 en voor de periode 1990-1995. Telkens heeft het Laboratorium voor Fysische Geografie (RUG) daarin het deelproject „Actuele Sedimentdynamiek” verzorgd. Die overbruggingsprojecten hebben toegelaten langdurige onderbrekingen in de bathymetrische tijdreeksen te vermijden. Tevens hebben ze de gelegenheid geboden verkennend onderzoek te verrichten in het centrale deel van de Noordzee (meer bepaald vòòr de kust van Noord-Engeland en op de Doggersbank) waar grotere diepten, een andere bodemtopografie en andere bodemsedimenten aangetroffen worden en waar dus bijkomende expertise kon opgedaan worden.

In 1990 heeft de Europese Gemeenschap binnen het programma MAST I (Marine Science and Technology) aan het Laboratorium voor Fysische Geografie (RUG) een project toegekend voor uitbreiding van het onderzoek naar de Middelkerkebank over de periode 1990-1993. Dit internationaal project „RESECUSED”, waarvan de coördinatie eveneens toevertrouwd werd aan Guy De Moor, was gewijd aan onderzoek naar het verband tussen sedimentbeweging en stromingen. Dit project werd uitgewerkt door een groep van Belgische, Franse, Nederlandse en Britse onderzoekseenheden. Het Laboratorium voor Fysische Geografie (RUG) heeft er meer speciaal de algemene bathymetrie, de morfodynamiek en de residuele sedimentdynamiek in onderzocht evenals de problematiek van de mobiliteit van zandgolven en megaribbels, hun functie in de bankopbouw en hun verband met de hydrodynamiek.

In 1992 heeft de Europese Gemeenschap binnen het programma MAST II aan dezelfde coördinator een verdere voortzetting van het onderzoek op de Middelkerkebank toevertrouwd voor de periode 1993-1995. Dit project „STARFISH” was evenwel veel ruimer, zowel geografisch als inhoudelijk. Het omvatte o.a. ook onderzoek in de Keltische Zee (meer bepaald op de Kaiser I-Hind bank) en in het Kanaal (meer bepaald op de Bassure de Baas), onderzoek naar actief suspensietransport met submariene platformen, snel bathymetrisch onderzoek met de Beasac in verband met stormeffecten, een begin van toepassing van de multibeam bathymetrische kartering, gedetailleerde stroomregistraties op verschillende punten en diepten op de Middelkerkebank, vergelijkend onderzoek naar de toepassing van de morfologische kenmerken van oppervlakkige sedimentaire structuren en van korrelgrootteparameterveranderingstrends in verband met de reconstructie van residuele transportpaden voor bodemladig, etc. Van Belgische zijde werd daaraan deelgenomen door het Laboratorium voor Fysische Geografie (RUG), door Eurosense, door het Renard Centre of Marine Geology (RUG) en door de Hydrografische Dienst der Kust. Van Nederlandse zijde werd meegewerkt door het Departement voor Fysische Geografie (Universiteit Utrecht) en door de Rijkswaterstaat, van Franse zijde door het Laboratoire de Dynamique Sédimentaire (Université des Sciences et Techniques de Lille I) en door Ifremer (Géosciences Marines), van Britse kant door de University of East Anglia (School of Environmental Sciences). Het Laboratorium voor Fysische Geografie van de RUG heeft binnen dit project de bovenvermelde monitoringen op de Middelkerkebank verder doorgezet.

In 1992 heeft het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap binnen de MAST acties aan het Laboratorium voor Fysische Geografie (RUG) een ondersteuningsproject toegekend voor de periode 1993-1996. Dit project werd vooral toegespitst op de problematiek van de sedimentverplaatsing in de kustnabije zone, op de mogelijke weerslag van de zandwinningen op de stabiliteit van de kustlijn tegenover de concessiezone 2 en ook aan methodologische problemen inzake de vergelijkbaarheid van sequentiële bathymetrische profielen.

De logistieke ondersteuning inzake vaartuigen werd hoofdzakelijk verzorgd door de Beheerseenheid van het Mathematisch Model Noordzee (BMMN). Voor onderzoek met de TER STREEP heeft de Hydrografische Dienst der Kust (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap) steun verleend. Deze beide diensten hebben zich bovendien ingezet om de meest recente uitrusting inzake nauwkeurige navigatie, positionering, dieptemeting, en data-acquisitie aan boord te implementeren en om regelmatig data in verband met getijden en stromingen aan te leveren.

## BIJLAGE 5

### **Schematische voorstelling van de werking van een hyperbolisch radio-elektronisch plaatsbepalingsstelsel.**

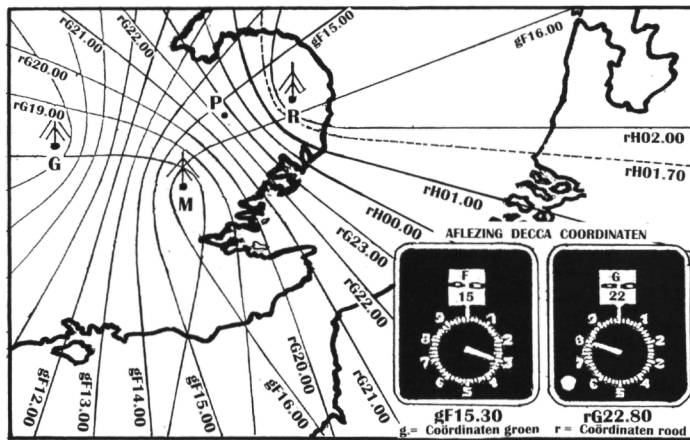
Het hyperbolisch radio-elektronisch navigatiesysteem berust op het principe dat een vlakke of, zoals in dit geval, een sferische hyperbool de meetkundige plaats is van alle punten die op een gelijk afstandsverschil tot twee vaste punten liggen. Alle punten van zo'n hyperbool zijn bijgevolg ook gelegen op een gelijk verschil in looptijd van twee radiogolven die synchroon vanuit twee vaste zendstations met stabiele golfkenmerken (golflengte, fase) uitgezonden worden. De ene zender is de hoofdzender („master”), de andere de volgzender („slave”) omdat zijn frequentie en zendfase door de eerste bepaald worden. Door het verschil in afstand of in looptijd te meten weet men dus op welke hyperbool men zich bevindt voor zover men die een identiteit toegekend heeft. In navigatietermen wordt die hyperbool dan een positielijn. Om de plaats van de waarnemer te definiëren als snijpunt van twee positielijnen zal men tegelijk de positie op een tweede positielijn en dus op een tweede hyperbool moeten vastleggen. Er zal dus een tweede subnet van snijdende hyperbolen nodig zijn. Het elementair hyperbolisch navigatiesysteem omvat dus minstens 3 zendstations die samen twee zendparen vormen en waarbij dezelfde zender als hoofdzender voor beide volgzenders functioneert. De netresolutie en dus de geometrische nauwkeurigheid van het net zullen des te beter zijn naargelang de afstand tussen twee opeenvolgende hyperbolen kleiner is en dus de golflengte kleiner, de zendfrequentie groter, de hoek tussen de beide hyperboolpatronen groter en de kromming van de hyperbolen kleiner. Die kromming neemt af naarmate de afstand tot de zendstations toeneemt, maar dan neemt de laanbreedte tussen twee hyperbolen wel toe.

De looptijden en hun verschil worden niet rechtstreeks gemeten. In de plaats daarvan wordt het faseverschil tussen de beide ontvangen radiogolven per zendpaar gemeten met een decometer. Technisch gezien gebeurt dit door de wisselende radiogolfenergie om te zetten in een elektronenstroom en vandaar in een sinusoidale wisselspanning. Indien beide zenders van elk zendpaar bij dezelfde frequentie en in fase uitzenden, komen de plaatsen waar het faseverschil tussen de wisselspanningen nul is overeen met het passeren van een nulfaseverschilhyperbool. Tussen twee opeenvolgende nulfaseverschilhyperbolen liggen hyperbolen met een faseverschil kleiner dan 1. Praktisch laat men de beide zenders van elk paar evenwel niet op dezelfde frequentie werken omdat zij anders bij ontvangst zouden resulteren in een niet te scheiden sinusoidale golf. De zendfrequenties vertonen wel een verschillende maar constante verhouding t.o.v. een hoofdfrequentie. Na ontvangst wordt frequentievermenigvuldiging toegepast waardoor beide zenders op dezelfde hoofdfrequentie in de ontvanger verwerkt worden. Voor het definiëren van de hyperboolidentiteit wordt een speciale procedure van zendfrequentiewisselingen toegepast.

De decometer wordt gecalibreerd om onmiddellijk de identiteit van de nulfaseverschilhyperbool weer te geven en de bijkomende decielen en centielen wanneer het faseverschil groter is dan nul. Het verloop van de nulfaseverschilhyperbolen wordt op de navigatiekaart gedrukt. Met behulp van de afgelezen waarden („systeemcoördinaten”) en zo nodig mits interpolatie tussen twee opeenvolgende nulfaseverschilhyperbolen kan dan de overeenkomstige positielijn voor elk van de beide zendparen afzonderlijk bepaald worden en op het snijpunt de plaats van de waarnemer gesitueerd.

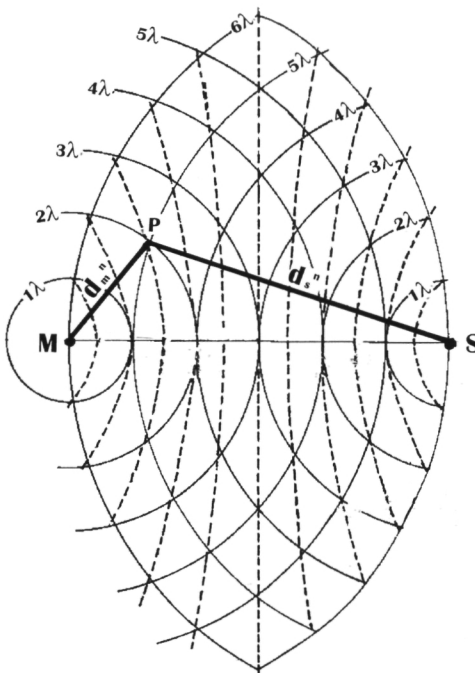
Een voorbeeld van een plaatsbepaling in DECCA coördinaten is P(rG21.00, gF45.00). De waarnemer bevindt zich op het snijpunt van de rode nulfaseverschil-hyperbool G21.00 met de groene nulfaseverschilhyperbool G45.00. Een punt met coördinaten P(rH01.50, gF45.50) bevindt zich halfweg tussen de nulfaseverschilhyperbolen rH1.00 en rH2.00 en tegelijk halfweg tussen de nulfaseverschilhyperbolen gF45.00 en gF46.00, d.w.z. op het snijpunt van de positiehyperbolen rH01.50 en gF45.50.

Bij geavanceerde radio-hyperbolische systemen leest men onmiddellijk de, naar geografische coördinaten getransformeerde waarden af. Dergelijke systemen werken op zeer hoge frequenties zodat de laanbreedte klein en de nauwkeurigheid groter worden. Dergelijke systemen zijn stabiel t.o.v. atmosferische storingen, maar hun draaagwijdte is kleiner. Bij meer geavanceerde systemen (zoals SYLEDIS) wordt er onmiddellijk aan de ontvanger een track plotter gekoppeld die toelaat de gevraagde weg op scherm te zien en geleidelijk de gevolgde weg te visualiseren. Een geïntegreerde left-right indicator laat dan toe onmiddellijk de afwijking tussen de gevraagde lijn en de gevaren weg op te volgen.



Schema van een radio-hyperbolisch Decca coördinatennet met twee zendparen.

M = Hoofdzender G = Groene volgzender R = Rode volgzender



Principe van een hyperbolisch coördinatennet. Schema van een zendpaar met radio-elektronische positiehyperbolen.

M = vaste hoofdzender ( $\lambda$ ,  $f$ )

S = vaste volgzender ( $\lambda$ ,  $f$ )

P = radiogolffront op  $n \cdot \lambda$

$\lambda$  = golflengte

$f$  = zendfase

- - - = hyperbool als meetkundige plaats van golffront op een afstand ( $n \cdot \lambda$ ) van de radiozender verwijderd.

$dm^n$ ,  $ds^n$  = afstand van hyperbool tot vast punt (zender).

De hyperbolen vertegenwoordigen de meetkundige plaats van alle punten op gelijk afstandverschil tot de vaste punten M en S. Fysische vormen zijn nulfaseverschilhyperbolen.

## BIJLAGE 6

### Schema van een *single beam* echoloding

De echoloder meet de diepte op het lodingspunt niet rechtstreeks maar leidt die af uit de looptijd van een ultrasonische geluidspuls die verticaal heen en weer gaat tussen een transducer meestal geïntegreerd in de romp van het schip en de lokale zeebodem waartegen de geluidsgolf gereflecteerd wordt („two way travel time”). De diepte onder de transducer op het lodingspunt is dan gelijk aan de helft van de totale looptijd vermenigvuldigd met de geluidssnelheid in het water. Men kan eventueel de diepte van de transducer vast instellen. De geluidssnelheid is van de orde van 1500 m/s maar wisselt in functie van de temperatuur, de saliniteit en de druk van het water (formule van Wilson). Bij elke meetcampagne wordt de echoloder gecalibreerd voor de heersende watertemperatuur en saliniteit. De diepte wordt geijkt door in een referentiepunt een vergelijkende dieptemeting uit te voeren met een meetstaaf die in zee neergelaten wordt.

De echoloder kan een analoge grafische registratie en een digitale output leveren. Bij de eerste worden een reeks opeenvolgende meetstippen als een lijn op de grafische recorder geregistreerd wat dan een echogram oplevert. Daarop kan men positiefixen aanbrengen. Door toevoegen van een tijdmeteter (TM) kan men een digitale diepte-aflezing (DGA) bekomen. De digitale dieptegegevens zijn alleen zeer kortstondig afleesbaar. Ze kunnen opgeslagen worden in een databank samen met de registratietijden en de bijhorende positiegegevens.

De grafische echoloder omvat een pulsgenerator, een zendtransducer, een ontvangstransducer en een grafische recorder. De pulsgenerator (PG) genereert de elektrische puls die de zendtransducer triggert. De zendtransducer (ZT) zet de elektrische puls ceramisch om in een ultrasonische geluidspuls (frequentie 20-300 kHz) en stuurt die verticaal uit in een smalle bundel. De ontvangstransducer (RT) vangt het gereflecteerde geluidssignaal op, zet het om in een elektrisch signaal dat eerst naar een versterker en daarna naar de grafische recorder loopt.

De grafische recorder omvat een gearde metalen plaat (M) waarboven een rol registratiepapier gespannen is tussen een afroltrommel (TA) en een oproltrommel (TO) die het registratiepapier met wisselbare snelheid kan laten passeren. Naast de plaat bevindt zich een geleidende band die over twee assen ronddraait met een snelheid die men eveneens kan veranderen. Op de band is een sleepnaald (N) bevestigd die met de band meedraait en daarbij volgens de y-as over het registratiepapier schuift. Op de achterzijde van de naald is er een glijcontact (C). Naast de band bevindt zich ter hoogte van de nullijn een glijcontact SP. Dit is verbonden met een externe stroombron en met de pulsgenerator. Een sleepcontact SR rust op de band en is aangesloten op de ontvanger. Verder is er nog een aandrijfmechanisme voor de oproltrommel (AO) en een voor de band (AB).

De beide assen op het registratiepapier zijn in feite tijdassen. De X-as geeft de afroltijd weer en kan gecalibreerd worden in afstanden als men de vaarsnelheid van het schip in rekening brengt.  $\Delta t$  geeft dus een tijdsverschil gecalibreerd in afstand. De Y-as meet de tijd gedurende een deel van elke bandomwenteling. Een tijdsverschil langs de Y-as kan in diepte gecalibreerd worden zodat men langs de Y-as een diepteschaal kan aanbrengen en op het registratiepapier dieptelijnen voorstellen.  $\delta t$  geeft dus een tijdsverschil gecalibreerd in afstand. Langs de X-as kan men tijdmerken (event marks). Die kan men inbranden als positiefixen zodat ook hier de preciese plaats van de lodingspunten en van de opgenomen bodemvormen kan teruggevonden worden.

De werking bestaat uit de opeenvolging van lodingscycli terwijl het schip zich verplaatst. Elke cyclus komt overeen met een volledige omwenteling van de band. De diepte in elk lodingspunt wordt als volgt geregistreerd.

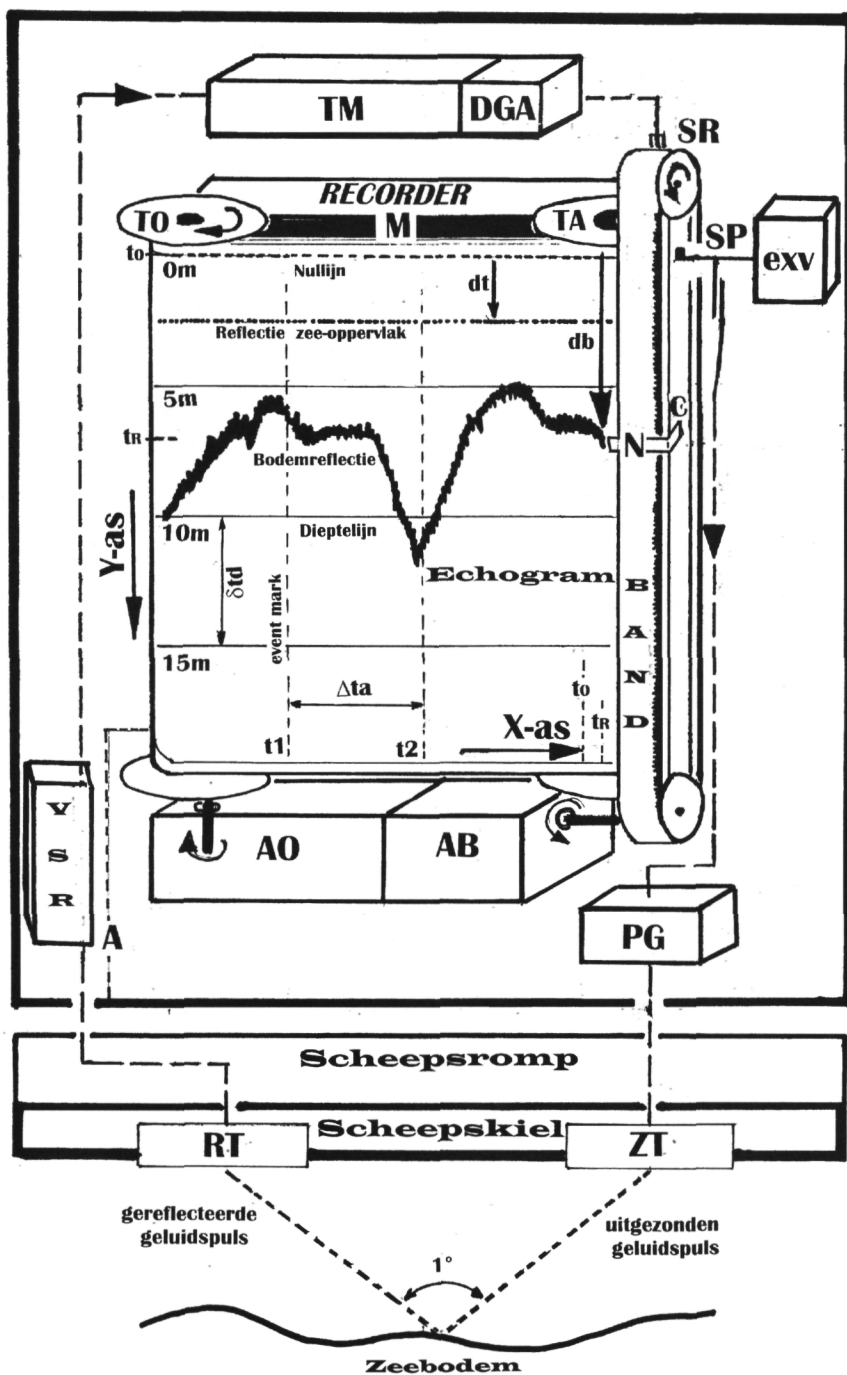
Op het moment  $t_0$  bevindt de sleepnaald N zich ter hoogte van de nullijn. De achterzijde van de naald raakt dan het glijcontact SP die stroom doorlaat vanuit een externe stroombron (exv). Hierdoor gaat een stroomstoot naar de pulsgenerator, wordt een elektrische puls gegenereerd die een geluidspuls aanmaakt in de zendtransducer. Die geluidspuls reflecteert eerst naar boven tegen

het wateroppervlak en daarna tegen de bodem die verder van de transducer afligt. Het eerste signaal wordt eerst opgevangen in de ontvangstransducer, het bodemsignaal pas later. Daar worden de geluidspulsen achtereenvolgens omgezet in een elektrische stroom die verder versterkt wordt, langs de tijdsmeter passeert, de digitale diepte-output genereert en uiteindelijk langs het sleepcontact SR op de band doorgegeven wordt. Eerst komt dus het signaal afkomstig van het wateroppervlak op de band en pas later, op het moment  $t_R$ , als de band reeds verder gedraaid is het bodemsignaal. Telkens brandt de naald N het registratiepapier in. Het eerste signaal registreert de diepte van de transducer (dt) onder het wateroppervlak, het tweede signaal de diepte van de zeebodem onder de transducer (db). Ondertussen draait de band verder en komt de naald terug ter hoogte van de nullijn, de achterkant raakt het glijcontact SP en een nieuwe elektrische puls wordt doorgelaten naar de pulsgenerator. Een tweede lodingscyclus vangt aan op een ander lodingspunt indien het schip zich ondertussen verplaatst heeft. Door opeenvolgende pulsen uit te sturen herhaalt zich dit proces bij elke puls en krijgt men na verloop van tijd een analoog diepteverloop opgetekend op het registratiepapier.

Frequentie en lengte van de geluidspuls moeten toelaten de two travel way af te leggen in functie van de diepte vòòr de volgende puls vertrekt. Daartoe kan de bandsnelheid aangepast worden en zijn verschillende dieptebereiken voorzien op de echoloder. Door de band sneller of trager te laten draaien zal eenzelfde Y-afstand op het registratiepapier overeenkomen met een respectievelijk kleiner of groter diepteverschil. Hierdoor is het mogelijk het maximale dieptebereik en ook de hoogte-overdrijving te veranderen. Dit is nodig om met eenzelfde toestel verschillende dieptezones te bestrijken. Op het registratiepapier zijn doorlopende dieptelijnen aangebracht waardoor de diepteschaal aan het meetbereik aangepast wordt. Door veranderen van de afrolsnelheid van het registratiepapier kan men de lengteschaal (X-as) en dus de hoogteoverdrijving veranderen.

De resolutie van de lodingspunten hangt dan af van de afrolsnelheid, van de pulsfrequentie en van de scheepssnelheid.

Men kan het registratiepapier ook voor een andere diepteband gebruiken bij eenzelfde verticale schaal door de pulstrigger te laten werken maar vanaf een lijn die één of meerdere dieptebanden verplaatst is. Zo bekomt men b.v. een dieptebereik van 10-20 m in plaats van een van 0-10m voor de gehele registratiehoogte. Dit laat toe nauwkeurige en gedetailleerde diepteregistraties te bekomen op grote schaal en tot op grote diepte. Achteraf is dan wel een restituerend nodig van de aansluitende deelopnames geregistreerd met verschillende dieptebereiken.





## RÉSUMÉ

### Recherches sur les risques géomorphologiques sur les Bancs de Flandre au cours de la période 1985-1995

Les risques géomorphologiques sont liés aux possibilités de changement altimétrique de la surface pouvant avoir des répercussions nocives sur l'occupation humaine ou biologique et sur les activités ou les réalisations humaines. Dans un milieu marin épicontinental comme la Mer du Nord méridionale, les risques géomorphologiques se manifestent sous forme de déplacements de bancs, de changements dans la hauteur des bancs ou de la profondeur des chenaux ou aussi par des changements dans la position, les caractéristiques ou la mobilité des dunes hydrauliques. Ainsi le changement altimétrique de la surface forme-t-il le phénomène fondamental et son suivi fournit-il la base pour une évaluation des risques géomorphologiques. Cette évaluation toutefois ne forme pas de prédiction à long terme mais seulement une option sur une éventuelle continuation à courte échéance de l'évolution observée.

Après une description de la morphologie des Bancs de Flandre avec ses grands bancs de sable, ses chenaux, ses dunes hydrauliques et ses champs de mégarides suit un rappel des conditions hydrodynamiques qui y régissent l'érosion, le transport et le dépôt de sédiments, base du changement altimétrique.

L'évolution technologique qui s'est produite au cours de la période 1970-1985 dans le domaine de la navigation, de la bathymétrie, de la réduction de marée, du contrôle de qualité et des techniques d'acquisition et d'élaboration de données par ordinateur ont pour la première fois permis d'obtenir des échogrammes séquentiels suffisamment précis et permettant la détection de différences altimétriques mineures et l'établissement de profils hypsométriques comparables le long de lignes de référence fixes ainsi que l'acquisition des données digitales de profondeur et de positionnement à grande fréquence et sous forme digitalisée facilitant ainsi les traitements ultérieurs. Sur les Bancs de Flandre les lignes fixes correspondent à des loxodromies qui sous-tendent des hyperboles rouges de zéro différence de phase du réseau radio-électronique Decca 5B entre des points fixes. Les techniques de navigation, de positionnement et de sondage ainsi que les procédures de laboratoire d'élaboration, de correction et de contrôle de qualité de profils comparables sont présentées en détail.

L'article montre ce que la recherche au sujet de la stabilité du fond marin sur les Bancs de Flandre pouvait réaliser autour de 1970 et les résultats que l'on pouvait obtenir au cours de la période 1985-95. Les cartes de stabilité permettent de cartographier des noyaux stables et les zones-à-risques environnantes à différents niveaux et périodes en partant de cartes hypsométriques séquentiels. Les profils superposés (comme les profils de différence altimétrique et des zones de balayage) et les profils sériels permettent d'étudier en détail mais de façon qualitative la dynamique et la mobilité des dunes hydrauliques, des bancs et des chenaux.

Les méthodes morphométriques utilisent les profils hypsométriques séquentiels pour établir des séries temporelles pour un paramètre numérique ainsi que leur analyse de régression pour déterminer la tendance du changement altimétrique. La méthode morphométrique directe mesure le paramètre directement sur le profil. Il s'agit par exemple de la distance entre les convexités sommitales ou aussi entre une convexité



sommitale et un repère virtuel immobile et non fixé au banc, comme le recouplement d'une loxodromie de référence avec un méridien ou avec un autre radio-hyperbole Decca. La méthode morphométrique indirecte présente également une approche numérique pour définir les tendances de changement altimétrique des surfaces sommitales des bancs et des fonds de chenal. Elle calcule d'abord la valeur d'un paramètre secondaire comme la hauteur moyenne du profil limité par une surface de référence qui peut être relatée à une forme morphographique comme une convexité sommitale ou une concavité de base. Ce paramètre  $h = S/L$  avec  $S$  égale à la superficie du profil au-dessus de la surface de référence et  $L$  égale à la longueur de la base du profil lors de chaque levé ou, en cas de stabilité bien marquée, à une date de référence,  $S$  et  $L$  étant les paramètres primaires mesurés directement sur le profil. Cette méthode numérique se prête facilement à une élaboration cartographique des tendances du changement altimétrique. Elle ne permet toutefois pas de distinguer l'impact des formes mineures (comme les dunes hydrauliques) le long du profil. On pourrait toutefois appliquer la méthode uniquement à la forme mineure elle-même, comme dans le cas de la dépression en développement sur la partie centre-nord du Kwintebank depuis 1992-93, ce qui démontre la complémentarité des différentes méthodes.

L'étude des changements altimétriques au cours de la période 1987-1995 sur les Bancs de Flandre montre que les fonds de chenal n'y ont que très peu changé aussi bien en profondeur qu'en largeur et que leur position est restée stable. Les risques géomorphologiques y sont donc très réduits, tout au moins en ne considérant qu'un futur rapproché. Sur les sommets de la plus part des bancs les risques géomorphologiques sont plus importants et plus variés. On y trouve un ensemble de zones à abaissement d'intensité différente. La tendance à l'abaissement est la plus prononcée sur la partie centre-nord du Kwintebank où elle atteint 25 cm/an pour la période 1987-1995 alors que cette zone a connu l'extraction d'aggrégats la plus importante des Bancs de Flandre. Elle est aussi plus marquée sur les faces nord des bancs, plus exposées aux vagues et aux houles de tempête. Le sommet du Middelkerkebank par contre présente une stabilité avec localement des tendances au rehaussement. L'interprétation génétique fait partiellement appel au mécanisme de maintenance qui considère un apport de sable vers les parties sommitales des bancs suite à une migration de mégarides à partir des fonds de chenal sur les flancs des bancs vers les parties sommitales.

L'article présente également quelques premiers résultats de l'application de techniques et de méthodes nouvelles en cours de développement durant les années quatre-vingt-dix, notamment la cartographie des différences de hauteur obtenues à partir d'une cartographie bathymétrique séquentielle au single beam hovercraft et d'une autre à l'échosondeur à multiples faisceaux (multibeam) et devenues possible grâce à l'introduction du GPS. L'apport des sonogrammes et les possibilités de la cartographie hydrographique à partir d'images satellitaires sont également mentionnés.

Plusieurs annexes présentent des données sur les campagnes bathymétriques qui ont été effectuées en mer entre 1984 et 1995 dans le cadre de cette recherche ainsi qu'un tableau avec les données de référence utilisés pour le calcul des tendances du changement altimétrique. Un bref exposé traite de l'essentiel des techniques bathymétriques, bathygraphiques et nautiques qui ont été utilisées.

## ABSTRACT

### **Research on geomorphological hazards on the Flemish Banks in 1985-1995**

Research on geomorphological hazards aims to evaluate the risks of altimetric changes possibly causing harmful effects on human or biological occupation and on human activities or realizations. At sea, in a sandy epicontinental environment such as the Southern Bight, shifting of sandbanks, raising or lowering of the summits of banks, raising of swale floors or changes in position, size or mobility of sandwaves involve such altimetric changes and form examples of geomorphological risks. Altimetric change of the surface therefore is the fundamental phenomenon and its follow up provides the argument for a risk evaluation. Such evaluation however is not considered to be a prediction over long periods, but merely an option on a possible continuity in the nearest future of an altimetric evolution observed over the previous years.

After a brief description of the morphology of the Flemish Banks characterized by large sandbanks and swales and by minor linear features such as sandwaves and mega-ripples, attention is paid to the hydrodynamical conditions. They command the sediment dynamics causing altimetric changes by differential erosion or sediment deposition.

Beside methods of sequential hypsometric map and hypsometric profile comparison special attention is paid at implementing trend analysis of time series of morphometric parameters deduced from sequential bathymetric surveys along fixed survey tracks into the altimetric change evaluation and altimetric change trend mapping.

The technological evolution in the field of navigation, bathymetry, tide reduction, quality control and the development of computerized techniques for data acquisition and numerical or graphical data elaboration during the period 1980-95 made it for the first time possible to obtain digital and analog chronosequential depth registration along fixed reference lines transverse to the bank axis (and corresponding here to loxodromes subtending sections between fixed W-points along radio-electronic red Decca hyperboles of the Decca-5B net) with a precision and a resolution allowing detection of minor altimetric differences and therefore realization of comparable hypsometric profiles. The navigation, positioning and sounding techniques and the laboratory procedures used to obtain such comparable profiles are discussed in detail.

The paper shows what sea floor stability research on the Flemish Banks could achieve during the period 1985-1995. Stability maps, deduced from sequential hypsometric maps, are useful but qualitative tools for the cartography of stable cores of banks and their surrounding sweep zones at different levels and for different periods. Superposed profiles (such as height difference profiles and sweep zone profiles) and serial profiles are used for detailed but mostly qualitative studies about morphodynamics of sandwaves, sandbanks and swales.

Morphometric methods of sequential hypsometric profile processing rest upon the use of time series for a numerical parameter and their regression analysis for the determination of the altimetric change trend. In the direct morphometric mode the parameter is directly measured on the profile. Such morphometric parameter is e.g. the distance between top convexities or between a top convexity and a virtual bench mark such as the crossing of the profile track with a green Decca line. The indirect morphometric method forms a numerical approach in defining the raising or lowering tendency

of banktops and swale floors. It rests upon the computation of an indirect morphometric parameter such as the mean height of a profile delimited by a reference level which may be related to a morphographic feature such as a top convexity or a base concavity. That parameter  $h = S/L$  with  $S$  equal to the area of the considered profile part above (or below in case of a swale floor) the reference level and  $L$  equal to the length of the base line of that profile on each survey date or, in case of distinct stability, on a reference date. It provides a cartography of the altimetric change trend. That risk evaluation along reference lines however does not yield direct information on the part of minor features such as sandwaves although separate application of the method to such individual features is possible. Therefore visual profile comparison still remains an unreplaceable complement.

The results show that during the period 1987-1995 depth and width of swale floors on the Flemish Banks changed very little and an altimetric change trend near to zero. Their location and that of the banks remained nearly unchanged with the exception of some restricted bank side oscillation. At the summit of most of the banks risks of altimetric changes are higher and most bank summits seem to consist of smaller zones having different lowering tendencies. Lowering tendency is most outspoken at the central northern Kwintebank reaching there 25 cm/year over the period 1987-1995. That area is the one with the highest sand extraction rate on the Flemish Banks (1.000.000 m<sup>3</sup> in 1992). There also exists a distinct lowering tendency along the northern edges of the banks, these zones being more exposed to swell and storm waves. The top of the Middelkerke Bank on the contrary shows a predominant stability with some zones of a weak raising tendency. The application of various methods suggests that the mobility of large sandwaves on the banks consists mainly of oscillations with a rather restricted residual effect over periods of a few years. The genetic explanation comprise a maintenance mechanism which is considered to be a sand supply process for the bank summits due to bank side climbing by megaripples migrating on the swale floors.

The article pays attention to the first applications of methods newly developed in the late nineties such as height difference mapping deduced from high resolution single beam hovercraft bathymetry and from multibeam bathymetric mapping, both possible since the implementation of GPS positioning. There is attention as well for the contribution of sonographs to the reconstitution of bedload transport paths using sandwave and megaripple asymmetry and orientation and the article mentions the prospects of satellite imagery.

An extensive bibliography is completed by a list of the more than 50 bathymetric campaigns at sea between 1984 and 1995, a table with the reference volumes used for the computation of the altimetric changes in 1987-1995 and a few notes on the essentials of the bathymetric, bathygraphic and nautical techniques used.

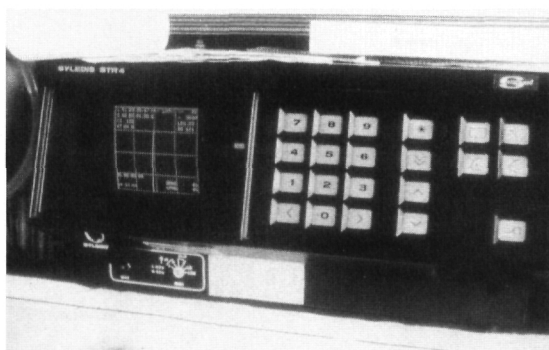


Foto 1. — Ontvangstoestel voor de hyperbolische coördinaten van het radio-elektronisch SYLEDIS navigatie-systeem (a/b Belgica, 1987).

De hyperbolische coördinaten worden onmiddellijk omgerekend in geografische coördinaten na opgave van projectie en ellipsoïde en worden afgelezen op het scherm in de linkerbovenhoek. Daarop wordt eveneens aangegeven de te varen orthodroom en de werkelijk gevaren route. Men ziet duidelijk hoe in het voorgestelde geval de gevaren route afwijkt van de referentielijn en hoe het schip door de roerganger die tegelijk over een left/right indicator beschikt, op de referentielijn teruggebracht wordt. De nauwkeurigheid van de navigatie kan verhoogd worden door de resolutie van het basisraster te vergroten. Op het scherm staan ook aanduidingen over de ontvangstkwaliteit, over de afstand tussen de beide lijnen, over de afstand tot het eindpunt van de vaarlijn en over de werkingsmode. Het toetsenbord laat toe verschillende menu's te activeren en data voor de oproepen programma's en werkingsmodes in te voeren.

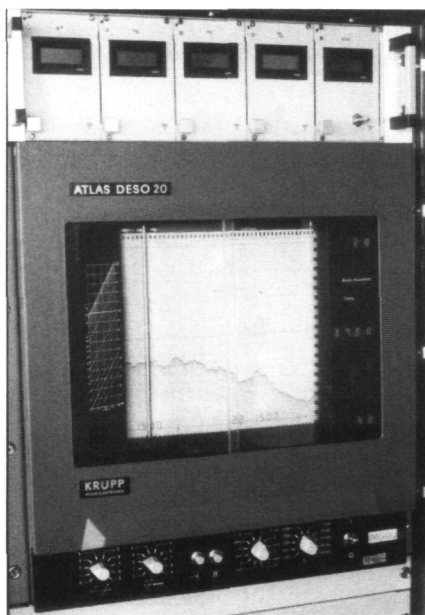


Foto 2. — ATLAS DESO XX echolood (a/b Belgica, 1985).

Bovenaan vindt men digitale aanduidingen voor verschillende meteorologische parameters. Daaronder volgen van links naar rechts eerst een normogram voor invoeren van geluidssnelheid en centraal het analoog echogram dat geleidelijk geregistreerd wordt met onderaan aanduiding van het actieve dieptebereik (i.c. 22 d.w.z. tussen 20 en 40 m diepte) en de gebruikte geluidssnelheid (i.c. 1500 m). De verticale band rechts toont van boven naar onder de registratiediepte aan de bovenkant van het echogram (i.c. 20 m), onderaan de registratiediepte aan de onderkant van het echogram (i.c. 40 m) en middenin de digitale uitlezing voor de diepte bij het laatste lodingspunt. De knoppen onderaan dienen o.a. voor keuze van het dieptebereik en voor aanbrengen van event marks op het echogram.



Foto 3. — KLEIN 520 side scan sonar (a/b Remerswaal, 1981). Gesleepte transducer (*towfish*) voor opnames van sonogrammen gedurende het pilootproject Kwintebank in de periode 1981-83.